Le Rendement de la Machine humaine

Recherches sur le travail

PAR

Jules AMAR

DOCTEUR ÈS SCIENCES

PARIS

LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS

19, RUE HAUTEFEUILLE, 19

—

1910

22102346555

Med
K8491

Digitized by the Internet Archive
in 2016

https://archive.org/details/b2805958x

LE RENDEMENT
DE LA MACHINE HUMAINE

RECHERCHES SUR LE TRAVAIL

Le Rendement de la Machine humaine

Recherches sur le travail

PAR

Jules AMAR

DOCTEUR ÈS SCIENCES

PARIS

LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS

19, RUE HAUTEFEUILLE, 19

—

1910

303950

33027510

WELLCOME INSTITUTE
LIBRARY

Coll.	welMOmec
Call	
No.	QT

LE RENDEMENT
DE LA MACHINE HUMAINE

AVANT-PROPOS

Le travail ouvrier est un des plus intéressants problèmes de la Mécanique appliquée aux sciences naturelles. Depuis le jour où l'admirable doctrine de *l'Energétique* a mis en lumière la nécessité pour tout travail d'être pris à une source assez abondante pour en faire au moins les frais, il est devenu possible d'étudier les moteurs animés par les mêmes méthodes qu'on étudie les moteurs inanimés. Le travail ne peut, en aucun cas, se créer de rien. Les êtres vivants le produisent aux dépens d'une énergie chimique, celle des *aliments*. Les machines usuelles l'empruntent à la chaleur développée par la houille, à l'attaque du zinc par un acide; il y a destruction de quelque substance pour servir de rançon au travail.

La *machine humaine* est donc, au même titre que les autres, un agent de transformation de l'Énergie qui la traverse sous forme d'aliments et en sort, partie sous forme de travail, partie sous forme de chaleur. Le flux énergétique doit être tel que le système mécanique, c'est-à-dire l'organisme humain, demeure à l'état *stationnaire*. Pour parler le lan-

gage de l'hydrodynamique, nous dirons que ce flux doit *dépenser* de quoi couvrir exactement les pertes subies dans le fonctionnement. La *dépense* sera la *ration alimentaire* qui contient en réserve une quantité déterminée, mesurable, d'énergie chimique. Malheureusement, nous ne pouvons mesurer cette quantité que par le nombre de calories que l'aliment dégage en brûlant. Nous connaissons les unités thermiques, mais nullement les unités chimiques.

L'ouvrier, même au repos, consomme; c'est une *Dépense statique*. Le travail lui fait consommer davantage : c'est une *Dépense dynamique*. S'il est resté stationnaire, si son niveau énergétique n'a pas varié, nous admettrons que la différence des deux Dépenses, mesurée en calories, a rigoureusement servi au travail. Le rapport de ce dernier à la différence ou à l'accroissement de dépense est appelé *Rendement scientifique* de la machine. En l'espèce, le rendement définit le *degré de perfection* de nos muscles. C'est le trait caractéristique, la mesure qualitative du travail de l'homme. Toutes les circonstances qui abaissent le rendement déprécient l'ouvrier. C'est un devoir pour la science de les déterminer, soit que l'activité humaine envisagée se déploie dans les ténèbres de la mine ou au fond des carrières, soit à l'usine et à l'atelier, dans des atmosphères électrisées, viciées par les produits industriels.

Toutes ces recherches, pour avoir un sens, une valeur indiscutable, doivent supposer que l'organisme a repris, au bout d'une certaine période, de la journée active suivie de la nuit de repos, son *état initial*. Théoriquement, jamais l'état final n'est identique à l'état initial. Pratiquement, il en est ainsi, car ce n'est rien que d'avoir vieilli de 24 heures pourvu que l'organisme soit demeuré stationnaire. Nous en avons pour indice que le poids du corps n'augmente pas, ne dimi-

nue pas. En même temps qu'elle garantit la méthode de mesure, *l'invariabilité de poids* du sujet garantit l'intégrité de ses organes, le bon état de sa santé. Cette condition est nécessaire. Une seconde condition, non moins importante, est de se rapprocher le plus possible du *régime libre*. Il faut entendre par là une activité normale, presque habituelle à l'ouvrier étudié, qui n'excède pas les limites que lui assignent sa constitution physique et son genre de vie ordinaire.

L'étude du Rendement de la machine humaine dépasse nécessairement les limites d'un laboratoire, car, avant tout, elle est pratique, et suppose un nombre considérable de mesures, réparties sur une longue période de temps. Elle se complique du séjour et de la surveillance attentive des sujets expérimentés.

L'examen des modifications que la vitesse, l'effort utile et le temps apportent à la grandeur même du travail et de la dépense fait ressortir les variations du Rendement, les avantages ou les inconvénients de tel mode de travail dans une circonstance bien déterminée. Il en précise la valeur réelle, puisque l'expression théorique du *degré de perfection* de nos muscles échappe absolument à la science.

Hirn qui, le premier, conçut l'idée de recherches thermodynamiques sur le moteur humain, suivies d'expériences malheureusement incorrectes, conseillait de les multiplier, de les faire durer plus d'une heure chacune, et d'y soumettre de préférence les « hommes de peine ». L'intégrité de l'organisme, son fonctionnement en régime normal étaient, pour l'éminent physicien, des garanties de succès (1).

Nous avons tâché de conformer notre travail à cette méthode. Mais trouver des sujets d'expériences n'était pas chose facile. C'est ainsi que, grâce à l'appui bienveillant du

(1) Hirn. *Exposit. analyt. de la théorie méc. de la chaleur*, I, p. 41. *C. R.* t. LXXXIX, pp. 834-835. *Rev. Scient.*, 1887, p. 780.

Ministère de l'Instruction Publique, nous avons dû racoler nos hommes en Algérie, en Tunisie, où nous n'étions limité ni par leur mauvaise volonté, ni par leur faiblesse numérique.

Il s'agit donc dans cette étude, qui dura 14 mois, spécialement des Arabes, dont, à des titres divers, la condition physique offre un réel intérêt.

En tant que moteurs, ils ne sauraient se distinguer par rien de caractéristique. A notre aivs, la nature de leur alimentation est le principal facteur qui les différencie de nous. Les influences ethniques ne doivent que médiocrement intervenir. Celles du milieu, et notamment l'action solaire, se lient aux lois de la nutrition.

Ces réserves n'enlèvent aucunement ses droits à l'analyse des caractères anthropologiques. Mais notre but était d'ordre physiologique et social.

L'ensemble de nos recherches est exposé dans la seconde partie de ce volume; la première étant consacrée à l'étude théorique générale du moteur humain, à la description des appareils, aux procédés de mesure qui s'appliquent à toutes les circonstances examinées. Il fallait être suffisamment clair et complet sur les détails techniques, sur les méthodes qui furent jusqu'ici employées pour aider à de nouvelles tentatives; car c'est un fait digne d'éveiller les initiatives que l'essor donné à l'étranger aux études scientifiques sur le travail, en Amérique grâce aux Institutions de M. Carnegie, en Belgique par le concours intellectuel et financier de M. Solvay. Nous, au contraire, l'inertie latine nous fait rédiger des pandectes plutôt que des protocoles d'expériences. Les lois devancent, chez nous, les observations qui devraient toujours leur servir de bases. Aussi bien les lacunes de notre science administrative sont-elles nombreuses et regrettables. Nos colonies abondent en terres mal défrichées, tandis que

des millions d'indigènes s'en vont errer dans la broussaille, se livrant au pillage, couvant leur mécontentement d'autant plus grave qu'il est entretenu par leur misère permanente et profonde.

Nombreuses les personnes qui me firent part, à ce sujet, de leurs craintes et de leurs idées. Il serait sage d'y prêter quelque attention. Si, un jour, notre armée coloniale devait se grossir de soixante-dix à quatre-vingt mille soldats indigènes, quel parti plus avantageux et plus pacifique à tirer de ce trop-plein de force que de la canaliser pour l'amélioration du sol africain? Les difficultés législatives là-bas sont moindres que dans les pays d'Europe, où ce n'est pas assez de payer la qualité ou la quantité d'un travail. Les exigences sociales posent de difficiles problèmes où la science doit avouer son incompétence. Distinguer le vrai du faux, ce n'est pas toujours séparer le juste de l'injuste.

JULES AMAR,

Docteur ès sciences.

Planche I. — Ergomètre en fonctionnement à Biskra.

PREMIÈRE PARTIE

—

CHAPITRE PREMIER

Rendements des moteurs.

1. — Le *rendement* est la caractéristique d'une machine à l'état dynamique. Il exprime le rapport du travail recueilli à la dépense correspondante. Sa grandeur est corrélative de celle du travail pour une consommation déterminée; elle donne le degré de perfection du moteur, d'économie possible.

Jamais ce rendement ne se traduit par l'égalité de la dépense et du travail. De la quantité de travail que reçoit une machine, une partie se transmet pour l'*effet utile* (1), l'autre est dissipée dans les frottements. Ainsi :

Travail moteur = Travail utile + Travail inutile ou Tm = Tu + Ti.

Le souci de la mécanique et de l'industrie est d'accroître jusqu'à un maximum la valeur du travail utile *Tu*. Carnot, obéissant aux mêmes préoccupations que ses contemporains, en formula clairement la loi (2), sans être ni compris ni ap-

(1) Effet utile, puissance motrice de Carnot, effet dynamique, travail indiqué sont synonymes. L'expression Puissance motrice est antérieure à Carnot *(a)*.

(2) S. Carnot. *Réflexions sur la puissance motrice du feu* (1824, 3e éd. Chez Hermann, 1903).

(*a*) V. Christian. *Traité de Mécanique indust.*, I, p. 64, 1822.

précié. Coriolis la cherchait encore, en 1829, mais il définit, pour la première fois, le Rendement : « Lorsque l'on veut donner une idée de la bonté d'une machine destinée, soit à recueillir, soit à transmettre le travail, on compare ce qu'elle *rend* avec ce qu'elle reçoit ou ce qu'elle pourrait recevoir théoriquement. La fraction qui exprime le rapport entre ces deux quantités est la mesure du degré de perfection de la machine (1).

$$\text{Donc : } R = \frac{Tu}{Tm}.$$

La force qui anime tout le système en mouvement et le fait passer d'une position initiale à une position finale, par une variation de vitesse, accomplit un ensemble de travaux. C'est l'expression même du *théorème général des forces vives* qui résume toute la théorie des machines :

$$\Sigma \frac{1}{2} m (v^2 - v_0^2) = \Sigma T.$$

A l'état de régime, la machine possède un mouvement uniforme, la variation de vitesse est nulle. On écrit l'équation des forces vives sous cette forme habituelle :

$$\Sigma \frac{1}{2} m (v^2 - v_0^2) = T_m - T_u - T_i = 0,$$

en d'autres termes, le travail moteur équivaut au travail résistant : $Tm = Tu + Ti$.

La force, ou plus exactement la *puissance vive* $\frac{1}{2} mv^2$, est l'origine, la source du travail moteur. On l'appelle *Energie*, vieux mot français restauré par Young et Rankine.

On peut dire, avec Hamilton, que le système en se déplaçant occupe une série de positions dont les coordonnées sont

(1) Coriolis. *Traité de la mécanique des corps solides et du calcul de l'effet des machines*, 2e édit., 1844, p. 311.

représentées par une fonction U. Les positions extrêmes donnent une valeur $U - U_0$ égale à la variation d'énergie E :

$$U - U_0 = E - E_0 \text{ ou } E - U = E_0 - U_0$$

Cela veut dire que l'énergie initiale équivaut à l'énergie finale, ou que le système considéré est *conservatif*. Il en est ainsi pour l'ensemble des phénomènes naturels.

En mécanique, on *démontre* donc que la variation d'énergie E est égale au travail extérieur T. Cela ne suffit pas. L'énergie du système peut varier sans qu'il y ait travail. Dans ce cas, il se produit une quantité de *chaleur* Q liée à la quantité T par une constante de proportionnalité : $T = EQ$ ou $T - EQ = 0$ (1). Cette *équivalence*, établie par R. Mayer et Joule (1842-43), exprime que l'énergie affecte des manifestations variées : mécanique, thermique, électrique, etc. Elle s'est vérifiée, en particulier, dans les systèmes qui, au bout de leurs transformations, reprennent leur état initial, c'est-à-dire qui réalisent des *cycles fermés*. Et on a : $T - EQ \neq 0$, pour tous les *cycles ouverts*. Ces derniers s'accompagnent d'une variation de l'état du système, soit Δu, qui équivaut à l'ensemble des effets mécaniques et thermiques : $\Delta u = T \pm EQ$.

La formule $\Delta u = T \pm EQ$ convient surtout aux cycles ouverts.

Ainsi, toute machine qui consomme de l'Energie : $-\Delta u$, est capable de produire du travail et de la chaleur. C'est l'énergie chimique, supérieure de qualité à toutes les autres, qui occupe le sommet des transformations et répond à toutes les dépenses. Elle n'est mesurable que par ses équivalents thermiques. Tout se passe comme si la chaleur se changeait partiellement en travail. Tel est le cas des moteurs

(1) E est l'équivalent mécanique de la calorie, soit 425 kilogrammètres environ.

thermiques. Le rapport du travail mécanique produit à la consommation de chaleur qu'il exige définit leur rendement ρ.

$$\text{On a : } \rho = \frac{T}{EQ}.$$

En pratique, ce rendement ne dépasse guère 10 ou 12 0/0.

D'autre part, le coefficient thermique du combustible, le jeu de la machine accroissent la dépense. Si on en tenait compte, ils réduiraient ρ à sa valeur industrielle ρ' telle que $\rho' < \rho$.

Le *rendement industriel* est le rapport du travail utile à la dépense *totale* d'énergie. Tous les déchets s'y confondent, réserve faite des charges d'exploitation (1).

2. — La machine humaine, assurément la plus ancienne, est assimilable, *pour le calcul de ses effets*, à une machine usuelle. Le travail dont elle est capable, la chaleur qui s'y développe ont même contribué à raffermir les premiers thermodynamistes dans leurs idées (2). Elle se compose, en réalité, d'autant de petits moteurs qu'il y a de muscles, mais tous fonctionnent harmoniquement. Leurs effets sont coordonnés; l'inégalité de ceux-ci retentit sur la grandeur de leurs rendements individuels. Aussi, n'est-il pas possible d'attribuer à la machine humaine, dans son *ensemble*, le rendement fourni par tel ou tel muscle, encore moins celui que des recherches laborieuses assignent au gastrocnémien de grenouille (3).

(1) Nous ne considérerons pas, pour l'objet qui nous occupe, le *rendement de Carnot*. En effet, il définit le plus grand rapport qui puisse exister entre le travail et la dépense réelle d'un moteur thermique, si ce moteur réalise un cycle *fermé* et *réversible*. Clausius faisait déjà observer à Hirn que cette double condition n'est nullement satisfaite dans le jeu des muscles (Hirn, *Rech. sur l'Équiv. méc. de la chaleur*, Colmar, 1858, rapport de Clausius, p. 138).

(2) Joule. *Philos. Magaz.*, 1843; — Cf. *Ann. Ch. Phys.*, t. XXXIV, p. 508; — R. Mayer, Mém. sur le mouvement organique (1845), trad. de Pérard, 1872.

(3) Pareille confusion semble avoir assez longtemps régné dans les études de mécanique animale.

Elle se rapproche assez des moteurs magnéto-électriques (1) qui développent travail et chaleur en détruisant des substances chimiques; des moteurs à gaz tonnant par le caractère rapide de la contraction et par son cycle irréversible et ouvert.

Ses particularités sont relatives à son fonctionnement *discontinu* pour *réparer* sans trêve les effets de la fatigue; à sa dépense, malgré cela, *continue*, et prise sur les *reserves* alimentaires, en sorte que le défaut de combustible ne l'arrête pas immédiatement; à sa nature *perfectible*, tandis qu'une machine usuelle réalise d'emblée toutes ses qualités : l'entraînement, l'âge, l'hérédité sont des facteurs qui la mettent dans un perpétuel devenir.

Enfin, son réglage est *intérieur;* il s'adapte à des nécessités invisibles, pour la plupart organiques, dont elle tire le principe de sa conservation. Aussi le travail en *régime libre* est-il le plus adéquat à la constitution de la machine animée. Et c'est alors qu'elle trahit cette tendance à l'*économie de l'effort*, suppléant le gaspillage énergétique par l'adresse des mouvements qu'elle gradue, qu'elle nuance à l'infini. Bien rares les moteurs qui approchent, même de loin, de cette perfection mobile.

En raison même de cette activité sûre d'elle-même, à l'abri des accidents de la dépense, la machine humaine consomme au repos comme dans le travail. Elle est le siège d'une incessante destruction d'énergie chimique où le travail — on ne sait de quelle façon — prend sa source.

Ainsi, à la dépense D' nécessitée par le repos s'ajoutera un supplément convenable pour que la nouvelle dépense totale D suffise au travail T. Rigoureusement parlant, c'est le supplément de dépense, soit D —D', qui correspondra au travail.

(1) Hirn. *C. R.*, t. LXXXIX, p. 690, 1879.

Le rendement réel sera donc :

$$\rho = \frac{T}{D - D'}.$$

Eu égard à la consommation statique, l'industriel s'occupe exclusivement du rapport $\rho' = \frac{T}{D}$. Le tableau III (p. 60) renferme à la fois les valeurs de ρ et de ρ'.

La nature du travail, les facteurs qui le composent modifient le rendement. En mécanique, le travail est une notion absolument indépendante du temps : $T = F \times e$. Mais l'espace $e = vt$ introduit dans le calcul la vitesse et la durée du mouvement. Entre ces trois variables F, v et t, il doit exister une relation remarquable qui, pour une valeur de T déterminée, réduira la *dépense au minimum*. On aura, par suite, un *rendement maximum*. L'*expérience* seule y peut conduire. Inversement, pour une dépense donnée, c'est elle qui indique le parti le plus avantageux pour que le travail de l'homme soit le plus grand possible, sans compromettre, sans altérer, pour peu que ce soit, sa santé.

Planche II. — Types d'hommes de peine ayant travaillé à l'ergomètre.

CHAPITRE II

Aperçu historique.

Deux points de vue ont dominé tour à tour l'étude de la machine humaine, des moteurs animés en général : celui des physiciens et des ingénieurs, essentiellement *pratique;* celui des chimistes et des biologistes, relatif à la *théorie* même.

1. — Jusqu'à la fin du XVIIIe siècle, la *force* (1) *humaine* avait paru d'origine mystérieuse, œuvre du *principe vital.* Celui-ci, étant susceptible d'un degré maximum de *fatigue*, il ne fallait pas l'épuiser, mais se contenter d'obtenir de lui *un effet maximum* pour un degré donné de fatigue. On évaluait donc tantôt la force absolue ou l'effort, tantôt le *travail journalier*. L'idée du rendement était ainsi dans les faits, sinon dans les esprits.

On était, néanmoins, frappé de l'*infatigabilité du cœur,* se doutant bien que son travail est immense pendant toute une vie. Le premier, Galilée (1564-1642) l'attribua à la *nature* du mouvement; c'est la masse *entière* du cœur qui se donne ce mouvement. Au contraire, les muscles des jambes, par exemple, ont à mouvoir une masse *additionnelle* écrasante, celle du corps et de la charge possible. Aussi la fatigue s'en empare-t-elle aisément (2).

(1) Pendant longtemps on entendit par *force* ce que nous nommons *énergie.* Même après l'œuvre de Mayer, Helmholtz écrivait son fameux Mémoire sur la Conservation de la force (1847). Ce qui était, pourtant, exact, c'est que la force était capable d'une *quantité d'action* ou de travail, absolument comme nous le disons pour l'énergie.

(2) « Awenga che lo stancarsi il corpo dell' animale deriva per mio credere

Il est curieux de noter que la *grandeur* du déplacement et sa *rapidité* furent considérées déjà par Léonard de Vinci (1452-1519) comme le fait d'une *rupture d'équilibre*. Les mouvements sont d'autant plus vifs que le système s'écarte de cet équilibre et y retourne plus vite (1).

L'effet de la force n'est pas le même pour les bras que pour les jambes. Celles-ci, disait La Hire (2), conviennent au transport *vertical* des fardeaux ; mais D. Bernoulli (3) les destinait au transport *horizontal*, à la marche. De toutes façons, l'effet *diminue* quand on atteint de grandes vitesses (4) ; il serait maximum si on adoptait la *vitesse convenable* (5) pour travailler toute une journée.

En régime *libre*, et à fatigue égale, on a vu les hommes produire des quantités de travail incroyables (6). Si l'on change l'effort P en p, la vitesse devra également se modifier, passer de V à v pour que l'effet soit encore un maximum. Deux formules dues à Euler (7) expriment cette relation :

$$p = \mathrm{P}\left(1 - \frac{v}{\mathrm{V}}\right)^2 \quad \text{ou} \quad p = \mathrm{P}\left(1 - \frac{v^2}{\mathrm{V}^2}\right)$$

Mais la quantité de travail *ne reste pas constante*. C'est bien

pall' impiegare una parte sola per muovere se stesso e tutto il resto de corpo...; all' incontro vedrete il movimento del cuore essere come infatigabile perchè muove se solo » (Galileo Galilei, *Opere*, vol. XI, p. 558, Milano, 1811).

(1) « Il moto è creato dalla destruzione del bilico, cioè dall' inegalità : imperocchè nissuna cosa per se si muove, che non eschi dal suo bilico, e quella si fa piu veloce che piu si rimuove dal detto suo bilico. » (Leonardo da Vinci. *Trattato della pittura*, Milano, 1804, p. 128).

(2) De la Hire. *Mém. Acad. des Sciences*, 1702, en commun avec des Camus.

(3) Danielis Bernoulli. Hydrodynamica, 1738, Bâle, sectio tertia. Il est frappant qu'à cette époque l'emploi judicieux de la force humaine ait été l'objet de nombreuses recherches. Deparcieux (*Acad. des Sc.*, 1760) reprit les expériences de la Hire et soutint que l'homme produit l'effort par son *poids*, tandis que ses muscles déplacent son centre de gravité.

(4) P. Bouguer. *Traité du navire*, p. 109, 1746. L'auteur parle spécialement des rameurs.

(5) S. Gravesaude. *Physices Elem. mathem.*, I, n° 1856.

(6) Desaguliers. *Cours de Physique*, I, p. 259. — II (passim), trad. franç. Paris, 1751.

(7) Euler ne fit lui-même aucune expérience. Depuis, ses formules ont été modifiées, surtout en Allemagne.

à tort, croyons-nous, que Coulomb reprocha à Daniel Bernoulli (1) de considérer la fatigue comme proportionnelle au travail suivant une constante, quelle que soit la variation des facteurs de ce travail. Au contraire, il admettait que la fatigue est plus grande lorsqu'on double la vitesse qu'elle ne le serait en doublant la charge.

Schultze (2), en 1783, multiplia les expériences pour éclaircir cette relation. Des hommes transportent, en marchant, des fardeaux croissant de 4 kg. 680, depuis 70 kg. 200 à 117 kg. La vitesse *diminuait* avec l'accroissement de charge en vérifiant la première formule d'Euler.

La notion de rendement sera tout à fait explicite deux ans après, avec Coulomb. « Il y a, écrivait-il, deux choses à distinguer dans le travail des hommes ou des animaux : l'effet que peut produire l'emploi de leurs forces appliquées à une machine, et la fatigue qu'ils éprouvent en produisant cet effet. Pour tirer tout le parti possible de la force des hommes, il faut augmenter l'effet sans augmenter la fatigue, c'est-à-dire qu'en supposant que nous ayons une formule qui représente l'effet, et une autre qui représente la fatigue, il faut, pour tirer le plus grand parti des forces animales, que *l'effet divisé par la fatigue* soit un maximum (3). »

Ce quotient, ajoutait-il, ne doit être déterminé que pour une *durée suffisante*, « attendu qu'en quelques minutes on peut soutenir un effort qu'on n'eût pas fourni durant une heure par jour ».

Alimenté régulièrement, l'homme est capable de travailler en portant des fardeaux *verticalement* (sur un escalier) ou en marchant, de s'exercer à différentes manœuvres. Dans cha-

(1) D. Bernoulli. *Sur les moyens de suppléer en mer à l'action des vents* (1753). — *Prix Acad. des Sciences*, t. VIII, p. 7, 1768.
(2) Schultze. *Biblioth. Britan.*, t. LVI, 1783.
(3) Coulomb. *Mém. sur la force des hommes*, 1785, publié dans les Mém. de l'Institut, ventôse an VI ; édité chez Bachelier, dans la *Théorie des Machines* de l'auteur (1821).

cun de ces cas, Coulomb évalue le travail en kilogrammètres (1). Mais il admet l'*égalité* du travail effectué en montant ou en descendant un escalier : ce qui est faux ; l'*équivalence* du travail vertical et du travail horizontal quand ils occasionnent la même fatigue ; le taux de cette équivalence serait : $\frac{\text{Trav. vert.}}{\text{Tr. horiz.}} = 1/18$ (2). Or, cela suppose un rendement invariable, quelle que soit la nature du travail ; il n'en est rien. Les conclusions générales de l'auteur sont toutefois intéressantes : L'ouvrier qui monte des fardeaux ou qui les transporte en marchant ne supporte que des charges respectives de 53 kg. et 62 kg. 300 au plus. Le quotient spécifié plus haut, c'est-à-dire le rendement, s'améliore pour une vitesse convenable, et dépend de l'habileté, de l'entraînement du sujet. Par contre, il est abaissé si la *température* vient à croître ou quand la nourriture est moins bonne : *7 heures de travail* par jour répondent à la meilleure utilisation de la machine humaine.

Lazare Carnot (3) avait les mêmes idées que Coulomb, mais il envisageait, dès cette époque, la nature du moteur musculaire. « L'animal est comme un assemblage de corpuscules séparés par des ressorts plus ou moins comprimés qui, par là, recèle une certaine quantité de forces vives ; ces ressorts, en se détendant, *convertissent cette force vive latente en force vive réelle* (4). Le problème de la dépense, évaluée en force vive, se précise et approche de celui de l'Energétique. « Une machine est d'autant plus parfaite, écrira Navier, que son

(1) Dans la marche, c'est aussi $T = P\,vt$ kgm., tout en reconnaissant que ces unités de travail occasionnent une moindre fatigue.

(2) S. Haughton est arrivé au rapport $\frac{1}{20}$ (*Principles of animal Mechanics*, 1873). — Cf. Parkes. *Ann. Sc. nat.*, 1868, pp. 279 et suiv.

(3) L. Carnot. *Essai sur les machines en général*, 1786.

(4) L. Carnot. *Principes fondamentaux de l'équilibre et du mouvement*, 1804, p. 247. C'est une refonte du précédent ouvrage.

effet utile approche davantage de la quantité d'action qu'elle *consomme* (1). » Nous avons déjà vu comment, à la suite de Sadi Carnot (1824) et de Coriolis (1829), le rendement mécanique fut définitivement exprimé. La thermodynamique vint tout révolutionner; elle « convertit » la force vive ou l'Energie potentielle en travail, en chaleur ; elle remit en honneur la conception des chimistes que nous allons exposer, en faisant jaillir cette force vive qui *travaille*, qui « se paie » suivant le mot classique de Montgolfier, des sources chimiques entretenues par l'alimentation.

2. —Il faut faire honneur à Lavoisier (1789) de la méthode vraiment scientifique pour calculer le rendement. Voici les expériences capitales qu'il réalisa aussitôt qu'il eut établi que l'oxygène développe dans l'organisme une quantité de chaleur égale à la chaleur de combustion des aliments :

« Il résulte des expériences auxquelles M. Seguin s'est soumis qu'un homme à jeun, dans un état de repos et dans une température de 26° (soit 32°5 C.)... consomme par heure 1.210 pouces d'air vital (24 litres, 002), que cette consommation *augmente par le froid;* et que le même homme, également à jeun et au repos, mais dans une température de 12° (15° C.) seulement consomme, par heure, 1.344 pouces d'air vital (26 l., 66). »

Pendant la digestion, cette consommation s'élève à 1.800 on 1.900 pouces.

Le *mouvement et l'exercice* augmentent considérablement toutes ces proportions. M. Seguin étant à jeun et ayant élevé pendant un quart d'heure un poids de 15 livres à une hauteur de 613 pieds (soit 489 gr. 50 × 15 × 613× 0m.3248 = 1.461 kgm. 690), sa consommation d'air pendant ce temps a été de 800 pouces (15 l., 869)...

(1) Navier. *Archit. hydraul. de Bélidor*, 1819, notes, p. 382.

Enfin, le même exercice, fait pendant la digestion, a porté à 4.600 pouces par heure (91 l.,247) la quantité d'air vital consommé. Les efforts que M. Seguin avait faits dans cet intervalle *équivalaient* (1) à l'élévation d'un poids de 15 livres à une hauteur de 650 pieds pendant un quart d'heure (soit 1.550 kgm.)... Ce genre d'observations conduit à comparer des emplois de forces entre lesquelles il semblerait n'exister aucun rapport. On peut connaître, par exemple, à combien de livres en poids répondent les efforts d'un homme qui récite un discours, d'un musicien qui joue d'un instrument. On pourrait même évaluer ce qu'il y a de mécanique dans le travail du philosophe qui réfléchit, de l'homme de lettres qui écrit, du musicien qui compose. Ces effets, considérés comme purement moraux, ont quelque chose de physique et de matériel qui permet, sous ce rapport, de les comparer avec ceux que fait l'homme de peine. Ce n'est donc pas sans quelque justesse que la langue française a confondu, sous la dénomination commune de *travail*, les efforts de l'esprit comme ceux du corps, le travail du cabinet et le travail du mercenaire (2). »

Pour l'exactitude de la conception, ces observations de Lavoisier n'eussent rien laissé à l'avenir si, comme il en était tenté (3), il avait adopté la loi d'équivalence entre la chaleur ou force vive et le travail.

Joule, le premier, fit cette application à l'organisme humain, déclarant « qu'en proportion de l'effort musculaire dépensé il y aurait une diminution de la chaleur développée dans le système par une quantité d'action chimique donnée » (*l. cit.*).

(1) Il est vraisemblable que l'estimation du travail donnait une valeur *au-dessous* de la réalité. Lavoisier se proposait de constater l'influence du travail sur la dépense, mais non d'effectuer des mesures rigoureuses. Notre observation répond à l'absurde prétention du Dr P. Dupuy, qui supposait un poids de 60 kgr. à Séguin et ajoutait ce poids à la charge. (*Gaz. méd.*, 1867, p. 524). Lavoisier ne pouvait commettre de telles erreurs.

(2) Lavoisier. *Œuvres complètes*, t II, pp. 688 et suiv. (Edition officielle.)

(3) Le même. *Ibid.*, t. II, p. 285.

La doctrine formelle fut apportée par J.-R. Mayer, de Heilbronn, en 1845. « Tout mouvement animal, dit-il, exige une dépense d'oxygène et une production d'acide carbonique et d'eau... » (*l. cit.*); le travail journalier coûte environ 95 gr. de carbone brûlés dans la machine humaine. Cela représenterait :

$$\frac{95}{12} \times 94 \text{ c.} = 745 \text{ calories.}$$

La physiologie est désormais engagée dans cette voie lumineuse. Dumas et Boussingault (1) assimilent le moteur humain aux moteurs thermiques et lui trouvent un rendement supérieur. Se fondant sur la dépense (300 gr. de carbone) consacrée à l'ascension du Mont-Blanc, ils arrivent à un rendement de 33 0/0 environ.

En particulier, c'est la dépense statique (2) qui intéresse le plus les chimistes : ils établissent le bilan des ingesta et des excreta au repos, n'étant pas encore éclairés sur la nature des changements que le travail imprime à la dépense. Leurs déterminations ont conduit à cette formule de Berthelot que « l'entretien de la vie ne consomme aucune énergie qui lui soit propre (3) ».

S'il en est réellement ainsi, il faut, de toute nécessité, que le travail musculaire se fasse aux dépens de l'énergie alimentaire. Or, le travail est *moteur* ou *résistant*. Dans le premier cas il doit *consommer de la chaleur*, dans le second la restituer (4).

En 1855-1858, Hirn soumit ces idées au contrôle de l'expérimentation. En appelant Q toutes les pertes thermiques de

(1) Dumas et Boussingault. *Essai de statique chimique des êtres organisés*, 1844.
(2) Boussingault. *Ann. Ch. Phys.*, 2e s., t. LXXI, p. 113; 3e s., t. XII, p. 164, t. XVII, p. 291. *Economie rurale*, t. II, 1844 (passim). — Barral. *Statique chimique des animaux*, 1850.
(3) M. Berthelot. *Essai de mécanique chimique*, 1870, t. I, p. 91.
(4) Quand le corps se déplace dans le sens même de la force, du raccourcissement musculaire, le travail effectué est dit moteur. Mais si le déplacement est dans un sens contraire à celui de la force (tel un homme descendant un escalier), le travail est dit Résistant ou Négatif.

l'organisme (rayonnement, gaz échauffés de l'expiration, sueur évaporée, etc.) et T le travail, la dépense sera :

$$D = Q + \frac{T}{425} \text{ dans le travail moteur,}$$

$$D = Q' - \frac{T}{425} \quad \text{— résistant.}$$

La simplicité du raisonnement supposait D invariable. Mais les résultats furent autres. Hirn échoua totalement dans ce premier essai. Ainsi, dans une expérience, D = 588 calories; T = 23.257 kgm. ou 54 c.; Q = 245 c. Il aurait fallu avoir :

588 = 54 + 245 (?). L'inégalité obtenue fit supposer à Hirn que l'équivalent thermodynamique était bien inférieur à 425 dans la machine humaine (1). Les rendements, calculés d'après ces résultats, ne pouvaient, en conséquence, offrir aucune garantie. Du reste, les causes d'erreur sont visibles, la mesure des gaz se faisait sur l'eau, et l'oxygène dosé était évalué en calories à raison de 5c.,2 par gramme. Les sujets respiraient mal à travers les tubes de caoutchouc qu'ils tenaient à la bouche. « Ces deux circonstances, écrivait avec raison Hirn, préviendront bien des personnes contre l'exactitude de mes résultats (2). » La dépense du moteur en activité s'accusait par une valeur excessive; elle est correcte dans l'état statique (3).

Dans une revue d'ensemble de ses expériences et de ses idées sur la machine humaine, l'illustre physicien de Colmar retoucha ses chiffres d'après son registre de notes et calcula les rendements ρ. Voici ses résultats :

(1) A. Hirn. *Rech. sur l'Equiv. méc. de la chaleur*, Colmar, 1858, ch. v.

(2) *Ibid.*, *l. cit.*, p. 60. Dans la *Rev. Scient.* de 1887, il insiste sur cette difficulté « d'aspirer constamment par le nez et de respirer l'air par la bouche, quand on marchait et que l'attention était distraite. Il n'est pas impossible que des fautes soient souvent nées de là » (pp. 7-15).

(3) L'auteur trouve que effectivement $D = Q ; \frac{CO^2}{O^2} = 0{,}99$, les sujets se nourrissant de pommes de terre graissées, pain et légumes (*l. cit.*, p. 683).

Sujets	Travail d'une heure	O^2 consommé	CO^2 rejeté	Q	ρ
—	—	—	—	—	—
	kgr.	gr.	gr.		
42 ans	+ 27.581	126,80	174,35	233c,10	0,217
	+ 27.448	130,95	180,06	251 ,60	0,204
	+ 23.257	115,72	159,12	203 ,50	0,212
	— 26.972	63,71	87,60	351 ,50	0,220
47 ans ouvrier	+ 32.550	123,68	170,06	229 ,40	0,250
	— 30.275	59,86	81,90	251 ,60	0,394
	+ 25.912	99,12	136,29	192 ,30	0,172
	+ 22.987	88,63	121,87	268 ,30	0,167
	+ 19.586	85,55	117,63	214 ,60	0,176
	— 24.175	49,57	68,16	251 ,60	0,292

ρ est le quotient de T par $Q \pm \frac{T}{425}$: double inconséquence, car, d'une part, Hirn n'admettait pas la valeur 425, d'autre part, la dépense exprimée par l'oxygène, est bien supérieure à $Q \pm \frac{T}{425}$ (1).

Il n'y a donc rien à déduire de tous ces chiffres. Si les mesures calorimétriques qui ont donné Q étaient réellement correctes, on pourrait adopter les valeurs de ρ. C'est ce que fit Helmholtz dont l'autorité accrédita, pour le travail de l'homme, un rendement de $\frac{1}{5}$.

En fait, Hirn avait échoué ; il avait bien exposé son but ; l'événement le trahit. Cela est si vrai que Béclard, deux ans après (2), *vérifia la restitution de chaleur* lors du travail

(1) *L. cit.*, pp. 7, 15 et 716. L'erreur systématique, provenant à coup sûr de la soupape, est d'environ 120 p. 100! Je dois noter, toutefois, que M. E. Schwerer, ingénieur à Colmar, qui fut l'aide et le collaborateur de Hirn, conteste toute erreur. « Les expériences de Hirn, m'écrit-il, sont justes et remarquablement justes... » Pourtant ?... Mais que mon scepticisme n'entame pas le zèle admirable de M. Schwerer pour notre illustre Adolphe Hirn. Je l'en félicite et le remercie sincèrement des explications qu'il a bien voulu me fournir.

(2) Béclard. *Archives gén. de médecine*, 1861. Dans son dernier cours à la Faculté de médecine (1886), ce physiologiste enseigna que le travail se pro-

résistant, sa consommation dans le travail moteur, opérations restées obscures dans les expériences précédentes. Et ce fut Hirn qui, satisfait de cette vérification, s'efforça d'interpréter à sa lumière ses premières observations (1).

A la suite de leur ascension au Faulhorn, Fick et Visclicénus (2) purent calculer sur eux-mêmes un rendement de 50 0/0.

Moins intéressantes les valeurs de $\rho = 34\ 0/0$; $\rho' = 21\ 0/0$ attribuées par Paul Bert aux prisonniers anglais faisant 260.000 kgm. par jour, les éléments de son calcul étaient de pures approximations ou des renseignements de seconde main (3).

La nature même de notre étude nous fait un devoir de passer sous silence les multiples et instructives recherches de thermodynamique uniquement faites sur les animaux, pour arriver bien vite à M. Chauveau. L'ère des méthodes précises et des conclusions rigoureuses commence avec lui. L'intérêt social qui s'attache à la connaissance de la machine humaine allait y trouver son meilleur aliment.

Pour M. Chauveau, le rendement n'a de sens que si le travail et la dépense sont exactement connus et analysés. Or cette analyse lui montre :

1° Que le travail résistant coûte moins que le travail moteur, et encore moins l'effort statique d'égale durée.

Ainsi, le fait de monter et de descendre un escalier ne coûte pas deux fois autant que la descente ou que la montée ; sou-

duit directement aux frais de l'énergie chimique (Tapie. *Trav. et chal. muscul.*, 1886, p. 75).

(1) Hirn. *Exposit. analyt. et exper. de la th. méc. de la chal.*, I, pp. 39-40, 3e éd., 1875. — *C. R.*, t. LXXXIX, pp. 689 et 833, 1879.

(2) Leur étude est traduite dans *Annales des Sc. nat.*, 1868, p. 273.

(3) P. Bert. *La Machine humaine.* 2 vol. 1867-68 ; v. t. II, p. 50). Citons enfin MM. Hanriot et Richet qui, en faisant soulever un poids et estimant la dépense par les gaz respiratoires, trouvent un rendement moyen de $\frac{1}{8}$ (*C. R.*, t. CV, pp. 78-79).

tenir un poids entraîne une moindre dépense que de l'élever ou de l'abaisser dans un temps égal.

2° Elle lui révéla surtout qu'en travaillant l'homme totalise dans sa dépense les frais du travail mécanique effectué, ceux de la vitesse de régime et enfin ceux qui proviennent de l'effort statique. Alors :

$$D = d_t + d_v + d_s$$

Quel que soit le travail, positif ou négatif, il occasionne une dépense. Le rendement sera donc :

$$\rho = \frac{T}{d_t + d_v + d_s}$$

Il est aisé de voir qu'en variant la vitesse et la durée, ou la charge, tellement que T soit constant, on agira seulement sur la grandeur de d_v et de d_s ou enfin de d_t ; on modifiera, par suite, la valeur du rendement. Dans ces conditions, la dépense est la traduction certaine de l'économie ou du gaspillage d'énergie qui a eu lieu dans la machine. M. Chauveau l'évalue comme Hirn, suivant les idées de Lavoisier, par le volume d'oxygène absorbé *en excès* sur le repos. Chez des sujets à jeun, un litre d'oxygène représente 4 cal., 6 ; nous verrons plus loin pourquoi.

Un homme qui monte ou descend un escalier accuse des rendements supérieurs dans le second que dans le premier cas.

Travail en kgm.:	535	573	611
ρ (moteur.....:	14 0/0	15 0/0	13 0/0
ρ (résistant)....:	26	34 0/0	27 0/0

Il semblerait que le travail négatif eût un rendement double de celui que donne le travail positif. C'est pure illusion. Il suffirait de ralentir le mouvement de descente pour que les deux valeurs de ρ tendissent vers l'égalité; on s'aperçoit, dans cette circonstance, que la *vitesse améliore le rendement*, qu'elle est un *facteur économique* des plus importants.

M. Chauveau établit, d'après une minutieuse analyse et une expérimentation délicate, que, pour effectuer un travail donné, il coûte *moins* de doubler, par exemple, la vitesse que de doubler la charge. Par conséquent, en réduisant les fardeaux de moitié et travaillant deux fois plus vite, l'homme fait un bon emploi de son énergie. La « volonté » qui détermine la *mise en train* des muscles y envoie des excitations dont le grand nombre coûte à l'organisme. Le rendement s'abaisse dès lors que les « coups de collier » deviennent fréquents (1).

Une critique, qui n'ébranle en rien la rigueur des déductions de Chauveau, pourrait, semble-t-il, s'adresser à son mode d'expérimentation. La *durée* de ses observations, 8 à 10 minutes au maximum, suffisait-elle à l'établissement d'un régime normal ? La dissociation des systèmes musculaires actifs, en faisant travailler les uns sans les autres, n'est-elle pas stérile au point de vue des résultats pratiques ? L'éminent physiologiste accordera évidemment que le jeu d'un organisme entier, avec son réglage harmonique, ne saurait être assimilé au jeu d'un muscle isolé. Le rendement de celui-ci ne renseigne nullement sur l'autre. Aussi bien, après avoir obtenu des valeurs de *15* à *30* 0/0 dans le déplacement sur un escalier, ne trouve-t-il pour ρ que 3 à *5* 0/0 tout au plus dans le travail des muscles du bras. Dans la réalité, non seulement ces conditions anormales sont d'instinct écartées, mais le travailleur adopte une *vitesse de régime libre* qui *économise* sa dépense énergétique.

Laulanié, élève de M. Chauveau, opéra sur lui-même en se plaçant dans cette circonstance favorable (2). Au moyen de

(1) Chauveau. *C. R.*, t. CXXII, p. 116; t. CXXXII, pp. 194 et 932; t. CXXXIV, p. 1179; t. CXXXIX, p. 19. Les recherches savantes de M. Chauveau sont clairement exposées dans *Travail musculaire et chaleur animale*, par G. Weiss, 1909 (chez Masson). — Cf. *Revue gén. des sciences* de 1903, pp. 147 et suiv.

(2) Laulanié. *Traité de Physiologie*, 2e édit., 1905, p. 792. — *C. R. Biol.*, 1903, p. 880.

son frein à poids, il pouvait augmenter la charge et y régler *volontairement* la vitesse convenable. Voici ses résultats :

Charge :	1 kg	2	3	4	5	6	8	10	12	15
Vitesse :	1m49	1m07	0,80	0,61	0,54	0,44	0,37	0,29	0,24	0,13
Travail:	448kgm	642	726	778	812	853	896	*905*	*906*	570
ρ :	0,141	0,204	0,229,	0,*233*	0,223	0,221	0,204	0,197	0,170	0,091

Ce tableau (1) montre avec une réelle clarté qu'au régime libre correspondent un « *optimum mécanique* » ou plutôt un *maximum* de travail, et un *maximum de rendement* que Laulanié appelle « optimum économique ». Dans le cas où l'on veut épuiser l'énergie du moteur pour obtenir le plus de travail possible dans le minimum de temps, il faut *accroître la charge*. Ainsi que M. Chauveau l'a démontré, il y a gaspillage d'énergie pour une charge croissante. Si l'on veut que le moteur travaille sous la loi de la moindre dépense, il est nécessaire que la charge et la vitesse se combinent d'une façon appropriée à cet effet.

Malheureusement, la durée de ces expériences était de *5 minutes :* c'est bien peu pour réaliser la vitesse normale et une respiration de régime sur lesquelles des conclusions solides puissent se fonder. De là au travail régulier de l'homme, la distance nous paraît très grande.

Il faut arriver à Atwater et ses collaborateurs (2), munis du magnifique outillage du Département de l'Agriculture à Washington, pour que les conditions vraies du travail libre se trouvent exactement remplies. Le sujet vaque à ses multiples occupations, travaille à la vitesse qui lui convient sur un monocycle, et ses dépenses et son travail sont évalués très correctement. Le calorimètre à respiration (3) où le sujet

(1) Laulanié, *l. cit.*, p. 803.
(2) *Experiments on the metabolism of matter and energy in the human body*, Washington, *Bulletin*, n° 136, 1900-1902.
(3) *Ibid.*, 1899, *Bull.*, 61 (Descript. of a new resp. calorimeter and experiments on the conservation of energy in the human body).

pourrait, sans danger, vivre plusieurs jours, est un tour de force de l'expérimentation.

La dépense, excès des ingesta sur les excreta, s'élevait *au repos* à 2.279 calories pour une ration d'entretien. Un travail de 8 heures lui faisait atteindre 3.892 cal., soit un supplément de 1.613 cal. L'expérience a montré aux savants américains que, sur 1,613 *c.*, 214 seulement répondaient au travail effectué. D'où : $\rho = \frac{214}{1613} = 13{,}3\ 0/0$

On aurait un rendement industriel faible :

$$\rho' = \frac{214}{3892} = 6 \text{ p. } 100 \text{ environ.}$$

Ces résultats seraient inattaquables si les auteurs avaient utilisé d'autres hommes que des juristes, médecins, physiciens, etc., c'est-à-dire une catégorie de gens sur lesquels il était impossible de reconnaître les qualités que l'exercice, la vie laborieuse de l'ouvrier, son entraînement, son habileté font acquérir aux muscles (1). Le rendement est la résultante de tous ces facteurs que le choix malheureux de personnes inaptes au travail mécanique éliminait systématiquement.

Si la rigueur de cette méthode avait été appliquée aux ouvriers étudiés par M. Armand Gautier (2), les conclusions n'eussent rien laissé à désirer. Cet éminent chimiste fit travailler à la pompe des hommes entraînés, et, calculant la dépense par les rations d'entretien, il obtint pour ρ une valeur de 39 0/0, pour ρ' 14, 5 0/0.

En réalité, le travail considéré n'était pas le travail utile. Pour une durée de 9 à 10 heures, M. Gautier fait ces *estimations :*

(1) *L. cit.*, p. 98. Les sujets pesaient de 60 à 76 kg; ils étaient âgés de 21 à 34 ans. Les rendements (Efficiency) réels varièrent de *13,3 à 20,2 0/0,* et la dépense dynamique atteignit 3892 à 5332 cal. (p. 190).

(2) A. Gautier. *L'Alimentation et les régimes*, 2e éd., 1904, pp. 101 et 111.

Remplissage d'une cuve de 150 hectolitres en portant l'eau à 10 m. de hauteur.....	150.000 kgm.
Elévation de la moitié du corps (32 kg.) à chaque coup de piston ; pour 1200 coups environ.	52.700 —
Travail pour vaincre les frottements de la pompe et du volant.....	9.500 —
Excès de travail du cœur et de la respiration sur le repos.....	38.250 —
Petits travaux supplémentaires des 24 heures..	10.000 —
Total.....	260.450 kgm.

On devait donc avoir :

$$\rho = \frac{150.000}{1.575\,c. \times 425} = 22{,}4\ 0/0 \text{ et } \rho' = \frac{150.000}{4.218\,c. \times 425} = 8\ 0/0.$$

Bien entendu, ces expériences n'ont rien de rigoureusement exact.

La conclusion de ce rapide historique est que le rendement de la machine humaine est essentiellement *variable*. Il varie suivant les conditions mécaniques, énergétiques du travail. Il dépend du temps, de la vitesse, de l'entrée en jeu de tel ou tel groupe musculaire qui aggrave la dépense. Il subit des hauts et des bas selon que le sujet travaille en *raccourcissant* peu ou trop les muscles actifs. Cette caractéristique de la machine humaine, décelée par M. Chauveau, ne se retrouve pas dans les moteurs inanimés. Le raccourcissement musculaire, une détente bien proportionnée sous le piston d'une machine thermique, règlent la dépense énergétique. Voilà comment l'ouvrier habile peut et sait économiser ses forces. S'il y a une *science* du travail, il y a un *art* de travailler.

CHAPITRE III

Le Travail et la Dépense.

1. — Nos expériences duraient, en moyenne, de 4 à 7 heures. Pour réaliser un état de régime dans le travail, nos sujets pédalaient sur un *monocyle ergométrique*. La roue est embarrassée au moyen d'un ruban d'acier qui passe sur une poulie et porte à chaque extrémité un poids. L'adhérence qui se produit entre la roue et le ruban, pendant la marche, détermine le soulèvement de P. On mesure ce frottement ψ de la manière suivante :

Soit (P-p) pour la valeur de la tension en P.

Si, à la vitesse de *n tours* par seconde, l'équilibre, est réalisé en plaçant un poids π sur l'autre plateau, on aura :

$$\psi = P - p - \pi.$$

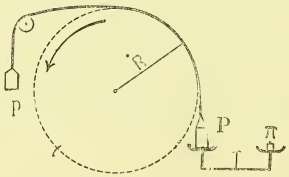

Fig. 1. — Schéma du monocycle.

On connaît une fois pour toutes la tension; il suffira pour

Planche III. — Monocycle ergométrique.

chaque valeur de n, d'observer π à l'équilibre. Le travail sera :

$2\pi n \mathrm{R} \times \psi$ pour 1 seconde. Le travail journalier, de t secondes, sera : $\mathrm{T} = 2\pi \mathrm{R}.n.t. \times \psi$.

Dans nos expériences, la tension fut de 1 kg. et puis de 1.200 gr.; les vitesses de 90 coups de pédale par minute en général, mais dans l'étude de la vitesse elle-même, les sujets ont travaillé à 60, 70, 80, 90 et 100 coups de pédale (1).

Les rapports du frottement avec la vitesse ont été :

Coups de pédale par minute	Vitesse par seconde	ψ Pour 1 kg.	ψ Pour 1200 gr.
—	—	—	—
60	6 m. 70	260 gr.	340
70	7 m. 81	285 —	340
80	9 m. 93	300 —	370
90	10 m. 05	335 —	380
100	11 m. 16	360 —	»

Trois coups de pédale correspondant à un parcours de 20 m. 10; le rayon de la roue est de 0 m. 32.

Le tableau précédent montre qu'en faisant varier la vitesse de régime de 6 m. 70 à 11 m. 16, le frottement, c'est-à-dire l'adhérence de la courroie, augmente.

Toutes les circonstances du travail se reflètent dans la dépense. C'est ainsi qu'en débutant nos hommes « remuaient » beaucoup et se fatiguaient plus tôt. Au bout de quelques jours, ils arrivaient à s'entraîner réellement et leur dépense s'abaissait; du reste, eux-mêmes reconnaissaient que « le travail n'était pas aussi pénible qu'à première vue ».

(1) Ce dispositif présente un inconvénient : celui d'avoir un réglage astreignant et difficile. Il vaudrait mieux que le ruban s'attachât d'un côté à un dynamomètre fixe, et de l'autre portât le poids. Alors le réglage serait automatique. On connaît P; il suffirait de lire la tension p. D'où $\mathrm{P} - p = \psi$.

gène. « J'admets, disait Boussingault en 1844, qu'un animal adulte, soumis à la ration d'entretien, rend, dans les différents produits résultant de l'action vitale, une quantité de matière précisément égale et semblable à celle qu'il perçoit par les aliments (1). » Dans ces circonstances, le *poids du corps se conserve ;* on a réalisé l'*équilibre de nutrition ;* mais le métabolisme a développé, aux dépens de la ration, une quantité d'énergie.

Au repos, toute cette énergie D′ est purement thermique (2). Toute celle, au contraire, que la ration de travail développe dans l'organisme se manifeste sous les formes mécanique et thermique sans augmentation ni diminution de sa valeur totale D. La conséquence de ces deux faits est que le *supplément d'énergie*, D—D′, ou de ration évaluée en calories, était nécessité par le travail. On a ainsi les deux termes du rendement (3).

Les aliments sont donc analysés afin d'y déterminer les quantités de *principes immédiats :* albuminoïdes, graisses, hydrates de carbone. Or, les *coefficients de digestibilité* de ces principes sont respectivement 0,85, 0,90 et 0,97 pour un régime *végétal* (4). Et l'énergie utilisable dans

(1) Boussingault. *Economie rurale*, t. II, p. 351, 1844.

(2) Les recherches classiques de Rübner (*Zeitsch. für biol.* Bd. XXX, 1849, pp. 135 et suiv.), les récentes vérifications d'Atwater (*l. cit.*) ne laissent aucun doute sur ce point de doctrine.

(3) Chauveau (*la Vie et l'Energie chez l'animal*, p. 30, 1894) reproche à la méthode des rations d'entretien d'offrir « un type qui manque d'unité », c'est-à-dire d'offrir des résultats non comparables les uns aux autres et soumis aux changements de nature de l'alimentation. Or, cela même est un avantage pour l'étude des qualités des divers aliments, et quant aux résultats ils n'en sont pas moins comparables dans leur espèce.

(4) Le régime des différentes populations où nous avons choisi nos hommes est *végétal;* il l'est par économie autant que par habitude. Ce sont des pâtes, semoules, légumes verts ou secs, fruits et notamment de l'huile d'olive. La viande est un luxe, un aliment de la classe aisée. Le plat national que ne se refuse aucune chaumière est le *Couscous*, farine grossière roulée en petits grumeaux et soumise à la vapeur d'un pot au feu qui la fait foisonner. Il est digne de remarque que les Arabes roulent cette farine au moyen de beurre légèrement *rance* appelé *Dehn* ou encore *Smen*. — L'alimentation végétale, suivant les résultats d'Atwater, admet les valeurs thermiques ci-après (*Experiments of the metabolism of matter and energy*... juin 1901, p. 470).

les organes est encore une fraction φ' de celle qui est disponible dans la ration réduite déjà par le coefficient de digestibilité φ. On admet que φ est *le même* au travail qu'au repos (1). C'est en tenant compte des facteurs de réduction $\varphi\varphi'$ qu'Atwater spécifia des valeurs de :

3 c.,88 8 c.,65 3 c.,68

pour 1 gr. d'hydrates de carbone, de graisses, d'albuminoïdes que contient la ration. Elles ont servi à nos calculs rassemblés plus loin.

Le second procédé a consisté à déterminer la *quantité d'oxygène* consommée au repos, et celle que nécessite une durée égale consacrée au travail. Il y aura un excès K en faveur de celui-ci, mesurable en litres dont l'expression énergique sera la suivante :

1 gr. de *glucose* brûle au moyen de *0 l. 746* d'oxygène (le volume étant ramené à 0° et 760).

1 gr. de *trioléine* coûte *2 l. 02*. Ce sera *1 l., 069* pour 1 gr. d'*albumine* (formule de Lieberkün). Cela résulte des formules moléculaires :

$C^6H^{12}O^6 + 6O^2 = 6CO^2 + 6H^2O$.
180 gr. + 192 gr.
$C^{57}H^{104}O^6 + 80\ O^2 = 57CO^2 + 52\ H^2O$.
884 gr. + 2.560 gr.
$C^{72}H^{112}N^{18}O^{22}S + 77\ O^2 = 9\ CON^2H^4 + 63\ CO^2 + 37\ H^2O + SO^4H^2$.
1.612 gr. + 2.464 gr. (2).

L'expérience a prouvé que cette consommation théorique est *égale* pratiquement à celle de l'organisme. On peut donc calculer que 1 litre d'oxygène développera :

(1) En réalité φ et φ' s'élèvent légèrement quand les muscles travaillent. Atwater et Benedict, *l. cit. Bull.* 136, p. 110.

(2) On voit que les 180 gr. de glucose, par exemple, exigent 192 gr. de O^2 pour brûler, soit $\frac{192}{180}$ par gramme. La masse du litre de O^2 étant 1 gr. 429, on aura : $\frac{192}{180} : 1,429$, soit 0 l. 746 pour oxyder 1 gr. de glucose.

$\frac{3\text{ c.},88}{0,746} = 5$ c.,20 avec les hydrates de carbone;

$\frac{8\text{ c.},65}{2,02} = 4$ c.,28 dans le cas des graisses;

$\frac{3\text{ c.},68}{1,069} = 3$ c.,44 par la combustion des albuminoïdes.

Dans nos rations, les deux premiers principes sont dans le rapport de 1 à 4, d'où une moyenne de $\frac{5,20 \times 4}{5} + \frac{4,28}{5}$ $= 5$ c. 01 par litre.

Les ternaires et les azotés sont dans le rapport de 1 à 6, en sorte qu'un *litre d'oxygène*, pour le régime considéré, produira :

$\frac{5\text{ c.},01 \times 6}{7} + \frac{3\text{ c.},44}{7} = 4\,cal.80$ environ. Ce *coefficient calorifique* (1) ou ce *pouvoir thermogène* (2), multiplié par le nombre de litres K, donnera la mesure de la dépense réelle d'énergie pendant le travail. Il en est « la fidèle représentation (3)».

La méthode est susceptible de rigueur; ses résultats peuvent se fractionner de manière que l'on voie par quelle gradation passent les dépenses du moteur. Le total devra s'écarter bien peu de l'excès de ration D—D' évaluée dans les mêmes unités.

L'abaissement de la température, l'ingestion des aliments au moment du travail augmentent l'intensité des échanges respiratoires (4); certaines substances ont un effet contraire : thé, café (5).

(1) Hirn. *Rev. scient.*, 1887, p. 683, 1re sem. — *C. R.*, t. LXXXIX, p. 833. Ce coefficient était, dans ses mesures, de 7c 45.

(2) Laulanié, *l. cit.*, et *Archives de physiol.*, 1898; ce savant adoptait 4c,870, nombre très voisin du nôtre, mais conforme aux expériences de Rübner.

(3) Chauveau. *C. R.*, t. CXXXII, p. 194 (1901), 3 oct. 1904, p. 530.

(4) Lavoisier. V. plus haut. — Spallanzani. *Mém. sur la respir.* 1803.

(5) Prout. *Ann. of philos.* 1813 et 1814. — Perrin. *C. R.*, 1864. En particulier, l'alcool des boissons ordinaires (vin rouge, bière) ralentit la production de CO^2 et semble épargner, diminuer la dépense (2e semestre 1864).

Planche IV. — Installation complète du monocycle et de l'appareil à respiration.

Dans ces conditions, nous faisions déjeuner nos sujets *deux ou trois heures* avant l'expérience, tout en nous efforçant de réaliser des périodes pour le travail, d'autres pour la nourriture qui fussent à peu près celles de la vie normale.

Nous avons observé que le *débit respiratoire* reprenait graduellement sa valeur du repos pendant les *20 ou 25 minutes* qui suivaient le travail. Toutes nos mesures ont donc été *systématiquement* accrues du débit des *10 minutes* immédiatement successives au travail.

Les sujets respirent *par la bouche* à travers une soupape Chauveau appropriée à cet usage et bien adaptée au moyen d'une rondelle de caoutchouc qui passe entre les lèvres et les dents (1). Le jeu des valvules permet l'entrée constante de

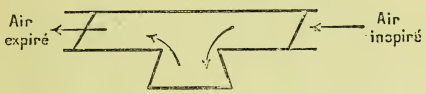

Fig. 2. — Soupape respiratoire.

l'air extérieur, et le rejet de l'air pulmonaire par une voie différente (planche V). Ces gaz se rendent dans un flacon de 8 à 10 litres et s'éliminent en traversant un spiromètre. L'air du flacon est exactement celui de l'expiration quand le régime est atteint. C'est au bout de 8 minutes au moins que nous faisons une prise de gaz de ce flacon. Dans ce but, nous plaçons un tube effilé aux extrémités, entre le caoutchouc du flacon et celui d'une seringue, ainsi qu'on voit sur la planche IV. On mélange bien et on aspire. Les tubes, d'une capacité de 10 à 12 cc., sont aussitôt fermés à la lampe.

L'analyse du contenu de ces tubes fournit les taux d'oxygène et de CO^2 rejetés, c'est-à-dire le *quotient respiratoire*

(1) Le nez est serré dans une pince en bois feutré.

$\frac{CO^2}{O^2}$. La valeur de ce quotient renseigne sur la *qualité* des substances détruites dans les tissus. Les formules moléculaires ci-dessus montrent que $\frac{CO^2}{O^2}$ est successivement égal à 1 — 0,818 — 0,70 quand l'alimentation, d'hydrocarbonée, devient azotée ou grasse.

D'autre part, le débit indiqué au spiromètre trahit la *consommation horaire d'oxygène*, car il est inférieur à la quantité de ce gaz que contient l'air extérieur de toute celle qu'il a laissée dans l'organisme. Soient donc v et v' les débits par heure de travail et de repos, t et r les taux respectifs en oxygène, A celui de l'air pur. La consommation horaire k sera :

$$k = A\,(v - v') - (vt - v'r).$$

Ces analyses, effectuées avec l'appareil de Bonnier et Mangin, l'ont été soit à l'Université d'Alger, où le Pr Maige nous offrit la bienveillante hospitalité de son laboratoire ; soit, pour près de 220 tubes, à Paris (1). Les analyses alimentaires, généralement aisées en ce qui concerne le régime étudié, m'ont été singulièrement facilitées par l'installation méthodique des pharmaciens militaires (2) et les conseils amicaux qui me furent prodigués. Je réponds donc de leur

(1) M. Weiss, professeur agrégé de la Faculté de médecine, à qui je dois tant pour les idées directrices de ce travail, a bien voulu faire une analyse de gaz respiratoires au moyen de l'eudiomètre Schlœsing, en même temps que je la faisais avec l'appareil ci-dessus mentionné. Voici nos résultats :

CO^2 { 4,07 (Weiss). 4,17 (Amar). O^2 { 16,58 (Weiss). 16,45 (Amar).

D'où une erreur possible de $\frac{2}{100}$ pour le dosage du CO^2, et de $\frac{1}{125}$ c. pour le dosage de l'oxygène, la première par excès, la seconde par défaut.

Une bonne analyse exige 10 minutes pour l'absorption du CO^2, 25 minutes pour celle de l'O^2 (le pyrogallate étant bien concentré).

(2) Notamment à Oran et à Tunis. Il est regrettable de voir réaliser des économies sur des instruments absolument nécessaires à MM. les pharmaciens militaires et qu'on leur accorde rarement, parcimonieusement.

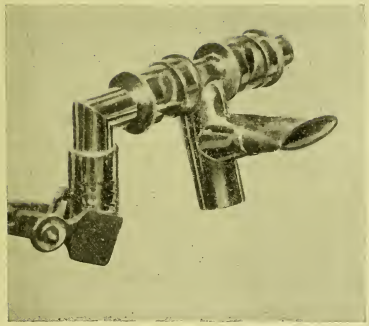

Planche V. — Soupape Chauveau.

grande exactitude. On m'excusera d'exprimer ici mes sentiments de reconnaissance à ces amis de la science.

Voici donc quelle fut notre méthode : les hommes, pris entre 20 et 40 ans, laboureurs, maçons, portefaix, domestiques de ferme ou de café indigènes, étaient engagés de gré à gré; beaucoup provenaient des prisons, où *ils entraient à peine* pour de *légères condamnations*. Après enquête sur leur genre de vie, ils étaient nourris comme *d'habitude*, à l'excès. En déduisant de la masse donnée celle qui restait, nous arrivions assez vite à la *ration d'entretien*, laquelle devait, pen*cinq jours au moins* donner à l'individu un poids pratiquement invariable. Les pesées se faisaient sur une bascule très sensible (5 gr. pour 100 kg.) à 6 heures ou 7 heures du matin régulièrement, selon la saison. Depuis le réveil jusqu'à la pesée, *l'eau* était interdite afin de ne pas introduire une cause d'incertitude dans les résultats.

Nous disposions partout d'une vaste cour à ciel ouvert où, sous la surveillance d'un agent français, nos indigènes pouvaient se reposer. Toutes ces précautions, même quand on les exagère, ne sont jamais superflues. En l'espèce, il y avait tout à craindre de l'ignorance et des supercheries des Arabes.

Pas n'est besoin d'ajouter que, quelque assiduité qu'il fallût, nous contrôlions tout par nous-même, n'accordant qu'une confiance mitigée aux volontés le plus apparemment bonnes.

Dès que le sujet entre dans la *période de travail*, il peut arriver que la ration, donnée au hasard, lui conserve son poids le *lendemain même*. Ce serait une erreur de s'y arrêter. Nous avons *toujours* constaté que cette ration ne le maintiendra plus le surlendemain. Il faut l'accroître légèrement. Par contre, 7 à 8 jours d'un *même* travail *diminuent* la ration d'entretien. Ces variations sont faibles, témoin cet exemple :

		kg.
Poids au repos	=	80,200
1er jour de travail		*80,200*
2e —		79,980
3e —		80,100
4e —		80,180
5e —		*80,200*
6e —		80,200
7e —		**80,200**
8e —		80,280
9e —		80,300

Nous adoptions le nombre du 7e jour; mais souvent la constance du poids se réalisait *dès le 3e jour* avec suite.

Ces observations, répétées sur 80 à 90 sujets, au cours de 145 expériences, semblent démontrer :

1° Que la dépense n'est pas *immédiatement* à la charge de la ration. Celle-ci ne subit *qu'après*, l'action destructive du travail;

2° Que l'entraînement, le même exercice souvent répété, *économisent* la dépense.

Quelques expériences, commencées sur *des femmes*, n'ont pu être achevées; nous ne les rapporterons pas.

Planche VI. — Femmes de peine indigènes.

DEUXIÈME PARTIE

—

CHAPITRE PREMIER

Analyses et calcul de la dépense

Conformément aux résultats de mon enquête, voici la composition des rations données à mes sujets :

Matin : un ragoût de haricots avec un peu d'huile d'olive et de sel ; du pain et un fruit sec (dattes, figues, raisins).

Soir : un ragoût de lentilles versé sur un plat de couscous, pain, fruit sec.

Tels qu'ils m'ont été livrés, ces divers aliments ont été analysés (analyse immédiate) aussi soigneusement que possible ; je me suis contenté, pour les *légumes secs*, le *thé* et le *café*, des analyses de Balland (1) sur des échantillons de même origine.

1. — *Couscous*. — Deux échantillons, α et β, suivant les pays.

15 gr. de couscous frais (fourniture α) sont desséchés à l'étuve à 110°, puis sur SO^4H^2 :

(1) Balland. *Les Aliments*, 2 vol., 1907, J.-B. Baillière et fils.

Poids initial.....	15 gr.
Poids final.....	7,33
Humidité.....	7,67 gr.

soit une proportion *d'eau* de $\frac{7,67 \times 100}{15} = 51,13$ 0/0.

— 5 gr. de cette matière desséchée, finement réduite en poudre, sont traités à l'éther; ils donnent 0 gr. 1035, soit *2 gr. 07* de *graisses*.

— 1 gr. de cette même farine est porté à l'ébullition avec 10 cc. de SO^4H^2. On laisse refroidir un peu et on ajoute 10 cc. d'une solution à 30 0/0 d'oxalate de potasse. On chauffe jusqu'à décoloration complète de la liqueur. Celle-ci est ensuite versée dans un ballon de un litre et mêlée à 100 cc. d'eau distillée. On neutralise avec de la soude au $\frac{1}{10}$ et on place le tout dans le ballon d'un appareil distillatoire Schlœsing, en introduisant, au moment d'opérer, 60 cc. de NaOH à 50 0/0. On distille au $\frac{1}{3}$ en recueillant dans 20 cc. de SO^4H^2 au $\frac{N}{10}$.

En neutralisant cet acide par la soude $\frac{N}{10}$, il en a fallu 8 cc. 7. D'où un poids d'azote de :

$$(20 - 8,7)\ 0 \text{ gr. } 0014 = 0 \text{ gr. } 01568, \text{ soit :}$$

$0,01568 \times 6,25 \times 100 =$ *9 gr. 80 d'azotées* dans 100 gr. de farine.

— 1 gr. de la même matière, très fine, est hydrolysé pendant *7 heures* (1) au bain-marie dans un ballon de 1 litre contenant 150 cc. d'eau distillée et 2 cc. de HCl fumant. Après refroidissement, on filtre *plusieurs fois*. La liqueur passera suffisamment claire pour un dosage optique.

(1) Des essais comparatifs nous ont montré que c'est là une durée nécessaire pour une bonne hydrolyse relativement à la quantité traitée.

Diluée à 210 cc., elle donne 2°20 saccharimétriques, soit : 2 gr. 065 × 2,20 = 4 gr. 543 par litre, ou :

$$\frac{4,543 \times 210 \times 100}{1000} = 95 \text{ gr. } 403$$ de glucose pour 100 gr. de matières. Cela représente :

95,403 × 9/10 = *85 gr. 86* d'amidon pour 100.

— En incinérant au moufle 1 gr. de substance, nous obtenons 8 gr. 013 de sels, soit *1 gr. 30* 0/0.

Il resterait ainsi *0,97* 0/0 pour les matières non dosées, la *cellulose* principalement.

Le même traitement fut appliqué au couscous β.

Les analyses, rapportées à 100 gr. de matière fraîche, sont les suivantes :

	Couscous α	Couscous β
Graisses	1,011	0,96
Albuminoïdes	4,78	3,75
Amidon	41,959	29,60
Humidité	51,13	64,35
Sels	0,635	0,72
Cellulose ?	0.485	0,62
	100 gr.	100 gr.

Remarque importante. — L'*acidité* du couscous est très élevée : 4 gr. de farine sont placés dans un verre à réaction avec 10 cc. de NaOH normale et une goutte de tournesol. On agite un instant, puis on l'étend à 50 cc.

En dosant au SO^4H^2 normal, il n'en a fallu que 9 cc. 7;

d'où une acidité de : 0 cc. 3 × $\frac{100}{4}$ = 7 cc. 5 0/0.

Cette forte acidité tient à l'emploi de la graisse rance des indigènes, dont nous avons parlé plus haut. Peut-être, l'exposition, à la vapeur, de ces grumeaux de couscous très petits

dédouble-t-elle légèrement les graines. En tous cas, l'oxydation du beurre a nécessairement acidifié la matière par de l'*acide butyrique* (1).

2. — ***Pain.*** — Deux qualités, α et β, consommées vieilles de 24 heures, et livrées respectivement par le même fournisseur.

A l'état frais, leur analyse, faite comme précédemment, a donné :

	Pain α	Pain β
Graisses.....	0,21	0,15
Albuminoïdes.....	8,25	7,00
Amidon.....	54,65	57,84
Humidité.....	35,40	33,96
Sels.....	1,20	0,85
Cellulose.....	0,29	0,20
	100 gr.	100 gr.

3. — ***Fruits secs.*** — La matière (figues, raisins, dattes sans noyaux) est finement déchiquetée, puis desséchée à l'étuve. Nous avons seulement dosé le *sucre* dans 100 gr. de matière fraîche, et les *graisses* en plus dans les figues à cause de leur aspect huileux :

	Raisins secs.	Dattes.	Figues.
Sucre (glucose)..	77,54	48,25	50,71
Graisses.....			2,86
Humidité.....	17,82	21,65	29,05

4. — ***Viande.*** — Son analyse nous fut nécessaire dans l'étude des changements d'alimentation. La viande employée, toujours découpée dans la même pièce, est du bœuf très mai-

(1) Boussingault admettait, après Young, que l'acide butyrique favorise la nutrition (*Econ. rurale*, t. II, p. 473, 1844).

gre : 100 gr. de matière bien hachée, desséchée et triturée, renferment :

Humidité	68,94
Graisses	4,64
Albuminoïdes	21,89
Sels	1,10
Hydrocarbonés	3.43
	100 gr.

Les substances hydrocarbonées figurent par différence.

5. — Voici, maintenant, la composition des aliments non analysés directement, et empruntée à Balland :

	Riz piémontais.	Haricots blancs.	Lentilles d'Algérie.
Humidité	13,00	12,50	12,50
Albuminoïdes.	7,78	20,44	20,61
Graisses	0,45	1,25	1,10
Amidon	78,21	57,46	60,74

		Café torréfié.	Thé noir.
Humidité		1,38	11,30
Albuminoïdes		12,70	26,74
Graisses		16,05	1,55
Extractif	sucre	50,56	49,46
	dextrine		
	gommes		
Cellulose		15,25	5,25
Sels		3,98	5,40
		100 gr.	100 gr.

Il y a 1 gr. 18 0/0 de caféine dans le café, et 1 gr. 65 0/0 dans le thé.

Cette analyse immédiate fait connaître les quantités de principes que l'organisme utilise comme sources d'énergie. Ainsi :

Un cultivateur de Monastir (Tunisie), âgé de 34 ans, a pour ration d'entretien *au repos :*

Pain α	650 gr.
Haricots secs	80 —
Lentilles	70 —
Huile d'olive	20 —
Sucre en morceaux	40 —
Couscous β	350 —

soit :

Albuminoïdes	100 gr. 82
Graisses	26 — 67
Hydrocarbonées	587 — 80

Ce sujet, faisant 5 heures de travail au monocycle correspondant à 66.661 kgm., sa ration s'élève comme suit :

Pain α	900 gr.
Haricots	80 —
Lentilles	70 —
Huile	20 —
Sucre	15 —
Couscous β	350 —

soit :

Albuminoïdes	122 gr. 44
Graisses	27 — 19
Hydrocarbonées	724 — 03

Pour faciliter les calculs, nous résumons les données analytiques et énergétiques du régime considéré dans le tableau suivant :

POIDS	NOMS	COMPOSITION			ÉNERGIE
					c.
100 gr.	Pain α	8,25	0,21	54,65	244,22
»	— β	7,00	0,15	57,84	251,47
»	Couscous α	4,78	1,01	41,96	188,98
»	— β	3,75	0,96	29,60	136,95
»	Haricots secs	20,44	1,25	57,46	308,97
»	Lentilles sèches	20,16	1,10	60,74	319,37
»	Figues	»	2,86	50,71	221,49
»	Raisins secs	»	»	77,54	300,85
»	Dattes sèches	»	»	48,25	187,21
»	Huile d'olive	»	100	»	865,00
»	Sucre blanc	»	»	100	388,00
»	Riz	7,70	0,45	78,21	335,68
»	Viande de bœuf	21,89	4,64	3,43	133,99
		Album.	Graisses	Hydrocarb.	

N° 42 N° 35 N° 34 N° 33

Planche VII. — Types du Sud-Algérien.

CHAPITRE II

Tableaux résumant les facteurs du rendement.

Nous donnons d'abord, dans le tableau ci-dessous (I), tout ce qui concerne l'âge et la profession, le poids, etc., des hommes étudiés. L'ordre suivi est celui de nos expériences. Le classement par pays d'origine ne paraît pas devoir s'imposer.

TABLEAU I

Nos	AGE ET ORIGINE	PROFESSION	POIDS	TAILLE	Buste	Inver.	OBSERVATIONS
			Kgr.	mètres	mètres	mèt.	
1	Monastir, 25 ans....	Journalier.....	76,200	1,78	0,95	1,77	Du 3 au 9 mai 1908
2	» 28 ans...	Charron.....	71,300	1,71	0,90	1,73	»
3	Sfax, 24 ans.....	Hom. de peine..	69,600	1,73	0,92	1,77	Du 11 au 18.
4	Kairouan, 20 ans....	Cultivateur.....	58	1,65	0,86	1,72	»
5	Monastir, 34 ans.....	»	74,600	1,78	0,92	1,89	Du 20 au 31.
6	Sfax, 26 ans.....	Garçon d'écurie.	68,900	1,68	0,88	1,71	»
7	Enfida, 22 ans.....	Berger.....	69,100	1,68	0,90	1,74	»
8	Sousse, 30 ans.....	Ouvrier au port.	62,100	1,63	0,87	1.70	»
9	Kairouan, 26 ans....	Domestique.....	68,700	1,71	0,91	1,78	Du 5 au 12 juin.
10	» 30 ans....	Cutivateur.....	65,400	1,64	0,88	1,73	»
11	Sousse, 25 ans.....	»	70,350	1,68	0,91	1,74	Du 14 au 20 juin.
12	Enfida, 30 ans.....	»	69,100	1,62	0,83	1,66	»
13	Thala, 32 ans.....	»	63,700	1,69	0,91	1,76	Du 17 au 24 juillet.
14	Tozeur, 32 ans.....	Commerçant....	62.100	1,68	0,90	1,71	»
15	Monastir, 34 ans.....	Ouvrier.....	73 450	1,75	0,92	1,79	Du 24 au 30.
16	Sidi bel Abbès, 19 ans	Journalier.....	61,300	1,65	0,87	1,64	Du 11 nov. au 18.
17	Arzew, 24 ans.....	Cultivateur.....	70,050	1,66	0,86	1,81	»
18	Oran, 23 ans.....	Journalier.....	79,800	1,75	0,93	1,79	Du 19 nov. au 26.
19	Tlemcen, 21 ans.....	Journalier.....	61,300	1,57	0.86	1,62	Du 19 au 26 nov.
20	» 22 ans.....	Cultivateur.....	64,750	1,67	0,89	1,73	Du 27 au 3 déc.
21	Oran, 22 ans	Berger.....	60,200	1,18	0,85	1,66	Du 3 au 9.
22	St-Denis-du-Sig, 35 a.	Hom. de peine..	72,380	1,63	0,94	1,89	»
23	Oran, 30 ans.....	»	68,900	1,70	0,91	1,77	Du 9 au 14.
24	Mostaganem, 35 ans.	Cultivateur.....	70.100	1,70	0,91	1,74	»
25	Tlemcen, 26 ans.....	»	70,800	1,74	0,91	1,79	»
26	Sud-Oranais, 30 ans.	»	66.450	1,69	0,87	1,72	3 Jv. au 11 janv. 1909
27	» 26 ans.	Domestique.....	66.660	1,69	0,90	1,74	»
28	Marocain, 28 ans....	Ouvrier agricole.	71,200	1.71	0,90	1,77	»
29	» 30 ans....	»	72,400	1,74	0,89	1,80	Du 11 au 17.
30	» 20 ».....	»	69,250	1,70	0,89	1,75	»
31	» 26 ».....	»	67,400	1,67	0,85	1,72	»
32	» 25	Portefaix.....	69,600	1,66	0,87	1,70	»
33	Biskra, 20 ans.....	Maçon.....	66,200	1,665	0,897	1,72	»
34	Oued-souf, 22 ans...	Hom. de peine..	74,500	1,792	0,927	1,88	(nègre) 17 au 23.
35	Constantine, 21 ans..	Journalier.....	6,7700	1.683	0,88	1,75	»
36	Ziban, 25 ans.....	»	57,500	1,645	0,895	1,69	(nègre) »
37	Touggourt, 22 ans...	Cultivateur.....	70,350	1,734	0.888	1,77	(nègre) »

Les 37 personnes du tableau I ont travaillé sur le monocycle; ainsi qu'on voit, elles sont robustes en général ; leur thorax est très développé, condition favorable à la respiration. Leur âge varie de 20 à 34 ans; leur profession les préparait aux travaux de fatigue.

Dans le tableau suivant (II), nous groupons les résultats mécaniques et thermiques, c'est-à-dire les valeurs du travail et de la dépense *D et D' sont calculées d'après les rations d'entretien.*

TABLEAU II (travail sur monocycle)

90 coups de pédale par minute, ψ=335 gr. Durée de 4 à 5 h. 30'.					
N°	Tu	O^2 en excès	D	D'	D—D'
	kgm.	l. c.	c.	c.	c.
1	66.661	122,80=590,70	3.397,81	2.880,42	517,39
2	48.481	76,13=366,39	2.988,39	2.635,24	353,15
3	60.601	87.85=422,60	3.047,68	2.635,60	412,08
4	»	91,32=439,25	2.781,37	2.366,90	414,47
5	»	92,91=446,90	2.911,88	2.499,40	412,48
6	54.541	manque	3.134,60	2.724,60	410,00
7	60.601	96,80=465,62	3.261,46	2.820,04	441,42
8	66.661	93,57=450,11	3.029,99	2.617,26	412,73
9	54.541	92,82=446,50	3.138,53	2.699,05	439,48
10	60.601	89,39=430,00	2.995,73	2.492,60	413,13
11	54.541	83,37=401,04	3.247,80	2.845,52	402,28
12	60.601	101,55=488,50	3.117,03	2.686,28	430,75
13	»	87,86=422,65	1.891,20	2.499,55	391,70
14	48.481	96,75=463,37	2.666,86	2.250,55	416,31
15	60.601	122,82=590,80	3.402,63	2.872,60	530,03
90 coups de pédale par minute ψ=380 gr. Durée de 3 à 5 heures.					
	kgm.	l. c.	c.	c.	c.
16	54.993	99,18=477,10	2.999,00	2.598,35	400,65
17	58.430	111,63=536,97	3.317,71	2.829,60	488,11
18	51.556	91,47=440,00	2.988,58	2.595,80	392,78
19	54.993	99,86=470,32	2.935,85	2.565,45	370,40
20	58.430	91,97=472,72	3.020,25	2.620,60	399,65
21	55.139	96,00=461,80	2.842,37	2.400,07	412,30
22	41.255	81,41=391,60	2.961,64	2.620,89	340,75
23	54.993	100,10=481,70	3.235,59	3.800,49	435,10
24	54.993	96,73=465,30	3.213,90	2.789,40	424,50
25	68.742	118,66=570,80	3.388,61	2.828,35	560,26
26	54.993	95,67=360,20	2.908,39	2.490,80	417,59
27	58.430	104,29=501,68	3.063,05	2.610,65	452,40

TABLEAU II (travail sur monocycle).

90 coups de pédale par minute ψ=380 gr. Durée de 3 à 5 heures.					
Nos	Tu	O^2 en excès	D	D'	D-D'
	kgm.	l. c.	c.	c.	c.
28	54.993	92,82=446,50	2.956,25	2.555,40	400,85
29	61.868	99,96=480,85	3.022,74	2.590,56	432,18
30	54.993	98,02=471,50	3.001,45	2.580,80	420,65
31	61.868	99,45=478 36	2.840,96	2.492,19	448,86
32	68.742	116,54=560,60	3.116,82	2.614,45	502,27
33	51.556	89,75=431,70	2.733,18	2.442,60	390,58
34	51.556	74,69=359,39	2.808,36	2.465,81	342,55
35	41.255	75,01=360,80	2.813,45	2.490,65	322,80
36	41.255	76,02=365,68	2.614,80	2.317,75	297,05
37	48.119	76,80=559,80	2.814,01	2.592.39	321,62

Il est assez surprenant que la dépense, calculée d'après l'excès d'oxygène consommé, soit systématiquement supérieure à la dépense évaluée par le supplément de ration. A quoi tient cette différence, qui peut atteindre $\frac{1}{10}$ de la dépense, mais souvent 1/30 ou 1/50? Peut-être avons-nous eu tort d'ajouter au débit respiratoire du travail, celui des 10 minutes qui suivent immédiatement celui-ci. Mais le coefficient thermique 4 c. 80, qui est une moyenne de moyennes, est aussi à incriminer, car rien n'en démontre absolument l'exactitude.

Toutefois, la correction qui a été observée dans les rations d'entretien nous paraît une bonne base de calculs, plus sûre que la précision souvent attribuée à la méthode du pouvoir thermique de l'oxygène. En partant de D-D', nous obtenons les rendements réel et industriel ρ et ρ', groupés dans le tableau III :

TABLEAU III

Nos	ρ	ρ'	Nos	ρ	ρ'
1	30,3 p. 100	4,6 p. 100	19	34,9 p. 100	4,4 p. 100
2	32,3 »	3,8 »	20	34,4 »	4,5 »
3	34,6 »	4,6 »	21	31,4 »	4,4 »
4	34,4 »	5,1 »	22	28,4 »	3,2 »
5	34,6 »	4,8 »	23	29,7 »	4,6 »
6	31,3 »	4,0 »	24	30,4 »	4,6 »
7	32,3 »	4,3 »	25	28,8 »	4,7 »
8	38 »	5,1 »	26	30,9 »	4,4 »
9	29,2 »	4,0 »	27	30,3 »	4,4 »
10	34,6 »	4,7 »	28	32,2 »	4,3 »
11	31,9 »	3,9 »	29	33,0 »	4,8 »
12	33,1 »	4,5 »	30	30,7 »	4,3 »
13	36,4 »	4,9 »	31	32,4 »	5,1 »
14	27,4 »	4,2 »	32	32,1 »	5,1 »
15	26,9 »	4,1 »	33	31,0 »	4,4 »
			34	35,4 »	4,3 »
16	32,2 p. 100	4,3 »	35	30,0 »	3,4 »
17	28,1 »	4,1 »	36	32,6 »	3,7 »
18	30,8 »	4,0 »	37	35,1 »	3,5 »

Les valeurs extrêmes du rendement ρ sont 27 et 38, en sorte que sa grandeur moyenne est de 32, 50 0/0; celle du rendement industriel étant seulement de 4,5 0/0. La plus faible valeur de ρ provient du travail d'un commerçant (n° 14) habitué à la vie sédentaire. La plus forte, au contraire, concerne un manœuvre de la marine marchande, et qui paraissait plus intelligent, plus éveillé que ses camarades (1).

Le rendement moyen 32,5 0/0 n'est, lui-même, que la moyenne de toutes les variations qu'il subit au cours d'une expérience. Ainsi, en nous servant de la dépense d'oxygène, nous remarquerons qu'il augmente de la 1re à la dernière heure du travail (tableau IV) :

(1) En calculant les rendements d'après la consommation d'oxygène, on obtient une valeur moyenne de 27 p. 100 au lieu de 32,5 0/0.

TABLEAU IV

1. — Variation du rendement au cours de travail

N° 28	Tu	O^2	ρ *
1re heure	13.748 kgr. 250	25 l. 47	29,33 °/o
2e »	»	23 l. 92	31,23
3e »	»	22 l. 10	33,81
4e »	»	21 l. 33	35,03
4 heures	54.993 kgr.	92 l. 82	32,2 °/o

* Les valeurs proportionnelles de ρ sont données par :

$$\rho = \frac{\rho \times 92{,}82}{25{,}47 \times 4}, \rho_2 = \frac{\rho \times 92{,}82}{23{,}92 \times 4} \ldots \text{etc.}$$

Les nos 29, 33, 34, etc., donnent la même allure du phénomène.

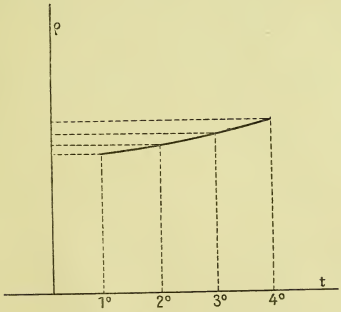

Fig. 3. — Variation du rendement avec la durée.

Mais ce qui relève le rendement encore plus que le travail, c'est la vitesse de régime. En l'accroissant, on réalise les

conditions du meilleur fonctionnement; mais il faut une vitesse convenable, particulière à chaque genre de travail. Les exemples que nous citons dans le tableau IV *bis* traduisent donc la superposition de deux effets sur l'amélioration du Rendement, par le travail même et par sa vitesse (nos 71 et 72). Il n'est guère possible de les dissocier tout à fait. Toujours est-il que la valeur moyenne des rendements, réel ou industriel, est d'autant plus élevée que le sujet aura travaillé davantage (tableau III).

TABLEAU IV *bis*

2. — Variations du rendement avec la vitesse, le temps seul est constant. = 4 heures.

N 71	ψ	T*u*	D—D'	ρ
70 coups de pédale	285 gr.	32.079 kgm.	300 c. 71	25,1 0/0
80 »	300 »	38.592 »	339 c. 27	26,7 »
90 »	335 »	48.481 »	400 c. 75	28,4 »
N° 72	Durée = 5 heures 30'			
90 coups de pédale	335 gr.	66.661 kgm.	511 c. 72	30,6 »
100 »	360 »	71.636 »	650 c. 26	25,8 »

La dépense est donnée par l'excès de ration. L'expérience avait duré 7 à 8 jours dans de bonnes conditions.

A deux mois d'intervalle, l'expérience avec le n° 71 a conduit aux mêmes résultats, savoir : que la vitesse améliore le rendement, tout comme le travail, d'où, sur notre graphique, une pente plus accusée que sur le graphique précédent. Il ressort du tableau I qu'à de rares exceptions près le travail élève, en effet, le Rendement. Quant à la vitesse, on en voit nettement le rôle en examinant le n° 72. Elle ne saurait

dépasser une certaine limite sans que la machine fonctionnât en gaspillant de l'énergie.

Les échanges respiratoires, dont l'expression énergétique est supérieure à la dépense D—D', conduisent aux mêmes

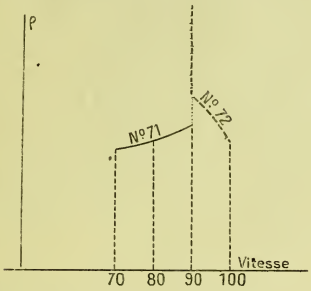

Fig. 4. — Marche du rendement avec la vitesse.

conclusions. En particulier, le débit gazeux s'élève pendant le travail, régulièrement, dans une proportion variable avec les individus, et pour chacun avec les circonstances mécaniques du travail. En général, il atteint une limite qu'il ne dépassera pas vers la 4e ou la 5e heure tout au plus.

A aucun moment, par contre, la ventilation pulmonaire ne se ralentit, sauf deux cas où nous pouvons incriminer de tout autres causes.

Si l'on augmente la vitesse du travail, le débit conservera la même allure ; son accélération ne semble pas varier très sensiblement :

Pour comprendre les exemples qui figurent dans ce tableau, il faut se reporter aux indications relatives à la date de nos expériences. Non seulement la température, mais le travail antérieur ont une répercussion indéniable sur l'intensité des échanges gazeux.

TABLEAU IV *ter*.

3. — Variations du débit respiratoire.

Nos	DÉBITS RESPIRATOIRES EN 10 MINUTES						VITESSE
	litres	litres	litres	litres	litres		
71..	140,36	175,11	179,01	179,83	180,05	»	70 coups de pédale
	146,40	189,76	194,52	197,80	198,00	»	80 »
	149,30	177,20	187,02	188, 0	188,80	»	90 »
28..	66,72	179,80	212,30	239,37	241,80	»	90 »
	92,76	178,50	182,16	187,62	189,50	»	»
	119,36	180,01	192,65	208,48	210,20	»	»
18..	110,95	190,72	239,17	301,80	306,40	»	»
	111,00	179,52	228,86	236,75	245,30	»	»
	1re heure	2e heure	3e heure	4e heure	5e heure		

Le Quotient respiratoire $\frac{CO^2}{O^2}$ a constamment une valeur moyenne de 0,853 au repos, de 0,884 pendant le travail.

Voici un examen de ses variations :

TABLEAU IV'''

4. — Variations du quotient respiratoire.

Nos	$\frac{CO^2}{O^2}$	Nos	CO^2/O^2	Nos	CO^2/O^2	Nos	CO^2/O^2	Nos	CO^2/O^2
1.	Repos... 0,825	9.	0,840	16.	0,843	24.	0,854	32.	0,853
	Travail.. 0,863		0,876		0,885		0,885		0,889
2.	R..... 0,837	10.	0,851	17.	0,853	25.	0,856	33.	0,855
	T..... 0,871		0,893		0,884		0,883		0,887
3.	R..... 0,839	11.	0,863	18.	0,861	26.	0,841	34.	0,854
	T..... 0,865		0,880		0,879		0,890		0,887
4.	R..... 0,851	12.	0,870	19.	0,863	27.	0,865	35.	0,852
	T..... 0,872		0,891		0,911		0,866		0,885
5.	R..... 0,850	13.	0,871	20.	0,847	28.	0,857	36.	0,851
	T. 0,881		0,879		0,870		0,892		0,887
6.	R..... 0,859	14.	0,836	21.	0,888	29.	0,848	37.	0,857
	T..... ?		0,864		8,899		0,890		0,898
7.	R..... 0,829	15.	0,841	22.	0,849	30.	0,870		
	T..... 0,870		0,877		0,897		0,901		
8.	R..... 0,830			23.	0,853	31.	0,841		
	T..... 0,872				0,893		0,882		

Nos		1	27	28	29	31	32	34	....
$\frac{CO^2}{O^2}$	1re heure	0,841	0,865	0,859	0,853	0,859	0,866	0,870	»
	2e —	0,859	0,865	0,860	0,860	0,863	0,870	0,875	»
	3e —	0,864	0,865	0,871	0,877	0,879	0,879	0,890	»
	4e —	0,865	0,869	0,921	0,917	0,896	0,887	0,896	»
	5e —	0,869					0,902		»

Il est donc nettement démontré, par ces expériences, que le Quotient de Pflüger n'est pas invariable pendant la durée du travail. Il s'élève à raison même de l'accroissement plus grand du CO^2 que du O^2; et nous n'avons jamais constaté qu'il tendît vers un maximum pour décroître ensuite. Une seule expérience (v. plus loin), dont la durée fut de 7 heures, permettrait tout au plus de supposer qu'après 5 heures de travail le Quotient reste fixe. Les conditions d'alimentation, où certains savants ont cru devoir se placer (jeûne, régime exclusif de graisses ou d'azotés, etc.), pouvaient les conduire à d'autres résultats, telle la constance de CO^2/O^2.

Ainsi, tandis que l'intensité des échanges, mesurée par le

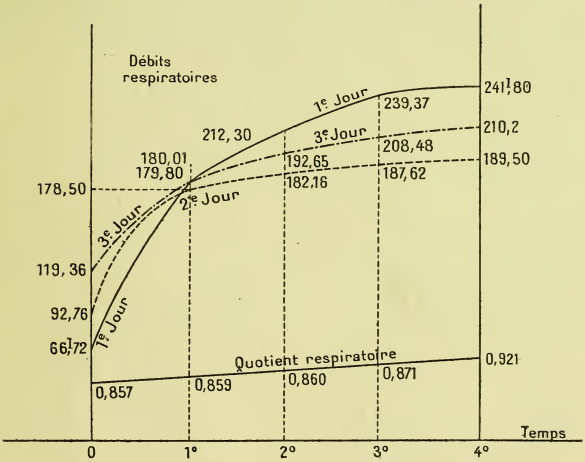

Fig. 5. — Marche des échanges respiratoires.

débit, s'élève brusquement et se maintient presque au même niveau dès la 4e heure, le Quotient de Pfluger semble pro-

gresser, peu sans doute, mais continûment (exemple 28). La prolongation du travail régulariserait le débit; ses variations sont moins brusques les 2 et 3e jours que le premier.

Les tableaux précédents témoignent de la généralité du phénomène. Une étude plus approfondie des variations des échanges n'a point de réel intérêt pour l'objet de nos recherches, et de plus elle risquerait de tirer sa valeur d'erreurs toujours possibles dans la mesure de faibles quantités de gaz.

Voici, maintenant, la liste des hommes dont le travail fut de monter et descendre un escalier, avec une charge déterminée, ou de la porter en marchant sur une piste couverte de dalles.

TABLEAU V (travail vertical).

Nos	AGE, ORIGINE	PROFESSION	POIDS	Taille	Buste	Envergure	OBSERVATIONS
			kg.	m.	m.	m.	
38	Tlemcen.... 25 ans	Cultivateur	71,300	1,72	0,93	1,76	du 11 au 26 nov. 1908
39	Oran..... 24 »	H. de peine	80,230	1,79	0,93	1,84	»
40	Sétif..... 28 »	Cultiv.	74,500	1,76	0,91	1,79	»
41	Oued-Souf.. 23 »	Domestique	74,550	1,80	0,93	1,89	(nègre) 3 à 14/1/ 09
42	Biskra..,... 36 »	Charretier	56,600	1,612	0,85	1,610	»
43	Ziban..... 28 »	Cultiv.	61,300	1,69	0,89	1,73	»
44	Batna..... 28 »	»	69,200	1,71	0,90	1,78	»
45	Collo ..... 21 »	»	68,00	1,65	0,86	1,69	4 au 14 juin 1908
46	Guelma .... 25 »	»	60,400	1,66	0,87	1,70	»
47	Jemmapes.. 28 »	»	62,700	1,70	0,90	1,75	»
65	Constantine 25 »	»	67,750	1,73	0,91	1,79	16 au 25 juin 1908
66	Duzewille... 45 »	H. de peine	70.500	1,74	0,91	1,79	»
67	Constantine 18 »	Ouvrier	62,350	1,65	0,87	1,69	»

Dans le dernier tableau (V *ter*) se trouvent groupées les indications concernant les sujets qui ont servi à l'étude de tel ou tel facteur du rendement, à celle de la nature de l'alimentation, et dont quelques-uns déjà ont été cités (tableau IV, nos 71 et 72). Enfin, la température du jour de l'expérience, à l'intérieur de la salle, sera placée en regard du no du sujet; elle donne tout simplement la température moyenne de la journée.

TABLEAU V *bis* (travail horizontal).

Nos	AGE, ORIGINE	PROFESSION	POIDS	Taille	Buste	Envergure	OBSERVATIONS
			Kgr.	m.	m.	m.	
48	Monastir... 22 ans	G. de café	58,950	1,63	0,85	1,66	4 au 10 mai 1908
49	Djemmal... 20 »	Cultivateur	71,000	1,72	0,92	1,75	»
50	Kairouan... 30 »	»	66,900	1,84	0,98	1,91	10 au 28 août 1908
51	» 22 »	»	70,800	1,74	0,90	1,74	10 au 28 août 1908
52	» 30 »	Berger	67,000	1,70	0,88	1,75	»
53	Thala..... 26 »	Cultivateur	69,000	1,71	0,89	1,76	2 au 10 sept. 1908
54	» 22 »	»	71,500				2 au 10 sept. 1908
55	Tlemcen... 28 »	»	64,750				5 au 18 janv. 1909
56	Biskra..... 24 »	Gardien	78,100	1,80	0,94	1,83	5 au 18 janv. 1909
57	Constantine 30 »	Berger	69,400				»
58	Thala..... 30 »	Maçon	74,500	1,76	0,91	1,79	20 au 25 août 1908
59	Oran..... 28 »	Journalier	72,600	1,73	0,91	1,78	11 au 18 nov. 1908
68	Sousse..... 25 »	H. de peine	75,100	1,76	0,92	1,80	2 au 10 sept. 1908
69	Sud-Oranais 27 »	Laboureur	66,200	1,69	0,88	1,72	3 au 9 déc. 1908
70	Mostaganem 26 »	Berger	71,400	1,70	0,89	1,74	(Bon marcheur) 1908

TABLEAU V *ter*

Nos	AGE, ORIGINE	PROFESSION	POIDS	Taille	Buste	Envergure	OBSERVATIONS
			kg.	m.	m.	m.	
60	Mehdia..... 26 ans	Cultiv.	70,550	1,74	0,91	1,78	du 4 au 12 août 1908
61	Enfida..... 22 »	»	75,300	1,71	0,90	1,76	»
62	Tlemcen.... 34 »	Portefaix	72,850	1,71	0,85	1,74	8 au 15 nov. »
63	Kairouan... 30 »	Cultiv.	68,300	1,68	0,89	1,72	15 au 25 août »
64	Oran..... 24 »	»	74,550	1,72	0,90	1,77	20 au 30 nov. »
71	Monastir.... 25 »	H. de peine	76	1,72	0,92	1,78	1 au 8 sept. »
72	Batna..... 34 »	Cultiv.	75,100	1,75	0,84	1,79	7 au 15 juin »
75	Constantine. 24 »	Laboureur	68,300	1,69	0,88	1,73	»
76	Guelma..... 28 »	Cultiv.	70,800	1,74	0,91	1,79	»
77	Kairouan... 20 »	»	55,500	1,71	0,85	1,74	17 août - 12 sept. »
78	Djemmal.... 23 »	»	71	1,69	0,91	1.72	»
79	Thala..... 23 »	»	67,900	1,65	0,84	1,70	»
80	Constantine. 24 »	Berger	70,900	1,71	0,85	1,74	5 au 20 juin »
81	Guelma..... 32 »	H. de peine	71	1,75	0,84	1,79	»
82	Souk-Ahras. 25 »	Laboureur	68,450	1,69	0,83	1,72	»
83	Maroc sud.. 32 »	Gardien	65,750	1,68	0,79	1,71	1 au 9 déc. »
84	» 34 »	»	69,200	1,70	0,88	1,77	»
85	» 27 »	»	64,350	1,67	0,89	1,71	»

Les hommes, de 38 à 47 inclusivement, et 65 à 68 montent et descendent un escalier dont les marches n'ont guère plus de 16 centimètres de haut; la pente de l'escalier est très dure. Quant à la charge elle a varié de 40 à 60 kg. : c'est un sac rempli de lentilles ou de haricots que les hommes portent sur l'épaule ou appuyé sur la nuque. La vitesse de déplacement était laissée à leur discrétion, mais, une fois adoptée, je veillais à ce qu'elle fût respectée jusqu'à la fin du travail. Les repos furent de 2 à 3 minutes. (Pl. VIII.)

Les n°s 48 à 59 et 68 à 70 parcouraient un chemin de ronde en portant un fardeau, vitesse et relais choisis à leur gré. Ils prenaient généralement 5 minutes de repos après chaque kilomètre ; d'autres se contentaient de 2 minutes, mais au bout de 600 m. de marche. Ces conditions permettaient de connaître le travail journalier.

Les n°s 73 et 74 n'ont pas continué, 75 et 76 ont servi au même but que 60 ; de sorte que je les aurais supprimés de mes tableaux, n'était l'avantage de me retrouver plus aisément dans mon registre.

Températures des journées d'expériences.

Nos	T	Nos	T	Nos	T	Nos	T	Nos	T	Nos	T	Nos	T	Nos	T	Nos	T	Nos	T
—	Deg.	—	Deg.	—	Degr.	—	Degr.	—	Degr.	—	Degr.	—	Degr.	—	Degr.	—	Degr.	—	Degr.
1	25	10	28	19	17	28	15	37	15	46	19	55	14	63	28	70	14	77	26
2	»	11	»	20	»	29	»	38	16,5	47	»	56	14,5	64	18,5	71	20,5	78	23,5
3	»	12	»	21	»	30	14,5	39	»	48	20	57	14	65	»	72	»	79	24,5
4	»	13	22	22	17,5	31	»	40	17	49	20,5	58	24	66	19	73	?	80	19,5
5	26	14	»	23	»	32	»	41	16	50	23	59	18	67	»	74	?	81	»
6	»	15	»	24	»	33	»	42	15	51	22	60	23,5	68	22	75	19,5	82	19
7	»	16	16	25	17	34	13	43	»	52	24	61	25	69	14,5	76	»	83	18,5
8	»	17	»	26	14	35	14	44	13	53	26	62	17,5					84	17
9	28	18	»	27	»	36	15	45	19	54	»							85	16,5

Dans le tableau VI, le temps effectif comprend les petits intervalles de repos qui séparent les voyages, chaque voyage étant l'ensemble d'une ascension et d'une descente. Ce travail est certainement très pénible. Ainsi 158 voyages m'ont

Planche VIII. — Cour de prison à Biskra. On y voit un escalier en bois qui a servi pour les expériences.

paru un maximum pour le sujet 65, et, du reste, ayant voulu lui faire effectuer de nouveaux voyages, il s'y refusa. — Malheureusement, on ne peut exactement mesurer en Kgm. la quantité d'action qui s'y déploie, attendu qu'il n'y a pas égalité de travail dans l'ascension et dans la descente ; ce sont, si l'on veut, des travaux d'espèces différentes. — Toutefois, on en peut conclure que l'ouvrier maçon, travaillant avec suite, pour des déplacements et des fardeaux comme ceux que nous avons considérés, épuise toute son énergie en 5 ou 6 heures.

TABLEAU VI (travail sur escalier).

Nos	Nombre de voyages	Charge	Hauteur	Temps effectif	D	D—D'
		kg.	m.		c.	c.
38	141	45	4,25	5 heures	3511,74	647,50
39	128	»	»	4 »	3321,60	519,48
40	134	»	»	4 h. 30 m.	3020,05	546,65
41	46	40	4,80	1 heure	2650,48	220,80
42	45	»	»	1 »	2600,75	211,70
43	52	»	»	1 h. 25 m.	2820,86	369,14
44	50	50	»	1 h. 30 m.	3460,97	417,59
45	100	»	3,78	3 heures	3185,00	695,17
46	112	»	»	4 »	3009,65	678,94
47	105	»	»	3 h. 30 m.	2989,25	705,60
65	158	»	»	4 h.	3420,17	893,15
66	124	»	»	4 h. 30 m.	3389,00	723,65
67	120	»	»	4 heures	3520,62	801,00

Dans la marche, sous une charge donnée, le travail n'est pas plus mesurable, ou il l'est difficilement, et sa mesure doit se modifier dans chaque cas.

Nos hommes étaient bons marcheurs; c'est d'ailleurs une réputation dont l'Arabe est fier, et que son genre de vie, son régime nomade devaient lui gagner à coup sûr. Bien des exemples d'endurance extraordinaire se sont offerts à moi que je me refuse à mentionner parce que les exceptions ruinent toujours la règle.

En augmentant la vitesse, on devait faire apparaître le désavantage des mouvements lents qui caractérisent l'Arabe. Effectivement il en fut ainsi : le travail s'en accrut d'autant,

TABLEAU VII (Travail en marchant).

Nos	CHARGE	PARCOURS	VITESSE	D	D—D'
	kg.	m.	m.	c.	c.
48	45	18.900	1,34	3.346	561
49	»	12.060	»	3.077	360
50	»	13.568	»	3.121	612
51	»	25.930	»	4.025	1.038
52	»	24.300	1,20	3.478	819
53	»	25.930	1,50	3.578	913
54	»	22.311	1,20	3.460	729
55	»	17.850	»	3.346	582
56	»	21.450	1,50	3.127	798
57	»	18.380	1,34	2.948	693
58	60	19.055	1,20	3.522	862
59	»	21.146	1,34	3.737	911
68	»	16.540	1,20	3.217	693
69	45	21.430	»	3.068	729
70	45	29.980	1,34	3.975	1.012

sauf à tendre, pour une vitesse convenable, vers un maximum qu'il ne dépassera plus.

La courbe représentative du travail journalier montre

Variation du travail journalier

CHARGE	VITESSE	PARCOURS	D	D—D'
kg.	m.	m.	c.	c.
45	1,20	26.450	4.079	1.195
	1,34	27.462	4.171	1.387
	1,50	25.190	4.251	1.567
60	1,34	22.311	4.387	1.611
	1,50	12.140	4.034	1.258

clairement que la vitesse de 1 m. 34 répond au maximum; la grandeur étudiée décroît très vite après le point d'inflexion M.

Bien entendu, ces maximums sont tous empiriques et ne sauraient être calculés *à priori*. — Moins pénible que le déplacement sur un escalier, la marche avec fardeau comporte une durée normale de 7 à 8 heures, dans les conditions indiquées, sans excéder la machine humaine. La vitesse optimum, considérée tout à l'heure, soit 1 m. 34, donnerait

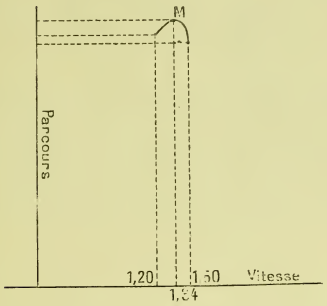

Fig. 6. — Effet de la vitesse sur le travail.

4 km. 824 à l'heure, sous une charge de 45 kg. Ces expériences ont pu se prolonger sans fatigue, sans récriminations sérieuses de la part des intéressés, pendant 8 à 10 jours consécutifs pour chacun.

L'impossibilité de mesurer ce travail nous a suggéré l'idée de le comparer au travail par déplacement vertical, et tous deux au travail en monocycle. Un même sujet, pour une ration d'entretien donnée, c'est-à-dire avec une *dépense invariable*, ferait ainsi successivement trois ouvrages, réalisant leur équivalence au regard de la dépense. Les n°s 61 et 64 ont servi à cet objet. Le tableau VIII réunit les éléments de cette comparaison.

TABLEAU VIII

D-D'	PARCOURS	ESCALIER de 4m25	CHARGE
502e (no 61)	18.460 m v = 1,34	135 voyages	45 kgr.
527e (no 62)	15.480 v = 1,34	114 »	»
		En monocycle	
497e, 60 (no 63)	25.930 v = 1,50	56.140 kgm. — ψ = 280 gr.	
398e, 80 (no 64)	18.430 v = 1,34	39.760 »	»

Les 135 voyages du no 61 équivalent donc au parcours d'une piste de 18 km. 460 m., avec une vitesse de 1 m. 34 et une charge de 45 kg. Or, ce parcours est à peu près celui que réalise le n° 64, dont la dépense est pourtant bien moindre. A la vérité, le rendement n'est pas constant chez tous les sujets, de sorte qu'à l'exemple des autres tableaux ce dernier offre un intérêt exclusivement pratique, et non point une valeur théorique indiscutable.

Ces expériences font ressortir tout ce qu'il y avait de factice et d'incertain dans la méthode de Coulomb, exposée plus haut. Elles ajoutent une difficulté de plus à celles qui rendent si délicate la recherche méthodique des facteurs du rendement. Il en est un, cependant, qui, dans l'étude des machines, s'impose par sa prépondérance : c'est l'*aliment* ou le combustible. Si l'on en varie la nature, si l'on substitue un aliment à un autre suivant la loi isodynamique de Rubner, le rendement restera-t-il invariable? La substitution isodyname, si réellement elle entretenait le niveau énergétique, devrait s'exprimer par un rendement constant quand le travail est resté le même.

Or, cela n'a pas lieu dans quelques-unes de nos expérien-

ces, et certains aliments font qu'à travail égal une moindre dépense suffit ; ils élèvent, pour ainsi dire, la *qualité* de l'énergie, ou, si l'on veut, ils l'*épargnent*.

5. — Variations du rendement avec la nature de la ration d'entretien.

Au régime habituel de l'Arabe, d'après lequel nous avons déterminé les rendements ρ' et ρ, nous apportons les modifications suivantes :

a) *Couscous*. — Le n° 78 est en équilibre dynamique avec une ration sans couscous ; son travail, en monocycle, s'élève à 48.290 kgm. Il refait ce travail, pendant 6 jours, en prenant pour son entretien une ration *contenant du couscous*, mais d'une valeur énergétique totale très sensiblement inférieure. Ainsi :

Avec couscous

638 gr. de couscous	=	1204 c.,	65
400 — de pain	=	976	88
80 — de haricots	=	247	17
70 — de lentilles	=	223	55
30 — d'huile	=	259	50
60 — de raisins	=	180	00
		3091 c.,	75

Sans couscous

1100 gr. de pain	=	2666 c.,	42
80 — de haricots	=	247	17
70 — de lentilles	=	223	55
30 — d'huile	=	259	50
60 — de raisins	=	180	00
		3576 c.,	64

La ration contenant le couscous *économise* par conséquent près de 485 calories sur la dépense. L'isodynamie n'explique

donc pas ce rôle de certaines substances que l'alimentation introduit et qui semblent protéger, épargner le budget de l'organisme.

b) ***Café.*** — Dans la ration habituelle des nos 81 et 82, nous substituons 30 gr. de café torréfié et infusé à une quantité isodyname de pain (1). La ration d'entretien, pour un travail de 52.147 kgm., était respectivement :

	3.711 c.	et	3.839 c.
Elle devient :			
	3.572	et	3.593
D'où une *économie* de	139 cal.	et	246 cal.

c) ***Thé.*** — C'est la boisson préférée du Marocain. Les nos 83, 84 et 85 prirent *5 gr. de thé*, dans leur ration, en substitution isodyname, et tout en faisant un même travail. L'*économie* fut respectivement de :

125 c., 50 157 c., 56 et 101 c., 59

d) ***Poivron rouge.*** — Tous les ouvriers dont j'ai examiné la nourriture sont habitués à écraser quelques poivrons très piquants dans le ragoût; ces fruits coloniaux (*Capsicum annuum*) sont à l'état sec. — Le n° 79 consomme quatre poivrons par ration et il gagne, sur la dépense ordinaire, *298 c. 46*. Or, la valeur énergétique du Capsicum serait, dans ces conditions, de 21 cal. environ (analyse de Balland). — Le n° 80 se met au même régime, seulement il ajoute les 4 poivrons à sa ration, sans rien en retrancher. Au bout de 5 jours de travail, son poids augmente, en moyenne, de *400 gr.;* autrement dit, la ration donnée devient surabondante.

e) N° 77 (voir planche IX).— Ce dernier sujet nous a servi à des expériences assez complexes et de conséquences variées.

(1) Cette infusion, les Arabes l'aiment très consistante, presque pâteuse; le sucre ordinaire de la ration qu'ils trempent dans l'huile, ils l'emploient alors à sucrer cette infusion.

1

2

Planche IX. — Sujets ayant servi à l'étude de l'alimentation.

Après un jeûne de *40 heures*, l'eau seule lui étant permise, on le nourrit avec une ration contenant 25 gr. de matières azotées ; il effectue un travail de 4 heures et demie à 70 coups de pédale, soit 36.089 kgm. Au bout de 6 jours, son poids augmente, en moyenne, de 483 gr. par rapport au poids initial à jeun :

Ration quotidienne	
Pain α	= 120 gr.
Riz en potage.....	= 200 —
Huile.....	= 80 —
Sucre.....	= 80 —
Raisins secs.....	= 200 —

Soit :

	gr.		c.
Albuminoïdes.....	25,03	=	93,104
Hydrocarbonées.....	458,08	=	1784,470
Graisses.....	81,15	=	721,947
			2599,521

Poids du sujet à jeun, le 18 août à 6 h. du matin = 55 kg. 400.

	kg.	
Le 19 août, à la même heure.	= 55,900	
— 20 — —	55,700	
— 21 — —	56,300	
— 22 — —	55,800	
— 23 — —	55,800	
— 24 — —	55,800	
Poids moyen.....		55,883
D'où un gain de		443 gr.

Augmentons la quantité d'azotés, par substitution isodyname, et soit alors la ration (avec viande) suivante :

Viande maigre.....	400 gr.
Haricots.....	200 —
Pain α.....	591 —

(15 gr. de sel).

Albuminoïdes.....	177 gr. 19
Hydrocarbonées.....	456 — 46
Graisses.....	17 — 46
	2.599 gr. 52 calories.

Au bout de 7 jours, le travail restant le même, et le jeûne préalable ayant duré 40 heures, on eut les poids que voici :

A jeun, le 25 août à 6 h. du matin.			54 kg.
Le 26 août il pèse		54,600	
— 28	—	54,750	
— 27	—	54,300	
— 29	—	54,700	
— 30	—	54,800	
— 31	—	55,000	
— 1er sept.	—	54,800	
Poids moyen.		54,707	54,707
D'où un gain de			+ 707 gr.

Malgré cette augmentation, le sujet n'a pas rattrapé son dernier poids moyen 55 kg. 883, ni même les 55,400 du début. Son poids a donc diminué progressivement, parce que les 2.600 calories ne couvraient pas les frais du travail et du jeûne.

Dans ces conditions, je substitue à la viande une quantité isodyname d'huile d'olive, soit *68 gr. 85*, exactement pesés. De nouveau 40 heures de jeûne, faisant tomber le poids à 53 kg. 050, cela le 2 septembre à 7 heures du matin.

Le 3 sept.	le poids est de	54kg. 250
4 —	—	53 — 950
5 —	—	54 — 150
6 —	—	54 — 450
7 —	—	54 — 130
8 —	—	54 — 350
9 —	—	54 — 400
10 —	—	54 — 450
Poids moyen.		54 kg. 265 gr.

D'où un gain de : 54,265 — 53,050 = 1.215 grammes.

Comparons les 3 rations isodynames et les gains dont le poids du corps a bénéficié :

	(1)	(2)	(3)
Albuminoïdes.....	25 gr. 30	177,19	89 gr. 63
Graisses.....	81 — 15	17,46	60 — 75
Hydrocarbonés.....	457 — 08	456,46	1142 — 74
Gain de poids.....	443 —	707 —	1215 —

Les rations (2) et (3), riches en matières azotées, élèvent le poids du corps bien plus que la 1re. L'organisme a donc besoin de plus de 25 gr. d'albuminoïdes.

D'autre part, (1) et (2) ont l'une plus de substances albuminoïdes, l'autre plus de graisses, tandis que les hydrates de carbone y figurent à titre égal. La nécessité d'un minimum d'azotés donne l'avantage à la ration (2). On comparerait au même point de vue (1) et (3). — Mais, entre les deux dernières rations, l'avantage demeure à (3), qui, satisfaisant le besoin d'albumine, enferme son énergie dans des substances ternaires (sucres et graisses). La machine humaine demande à ceux-ci, par conséquent, le combustible nécessaire. Auquel des deux? — Convertit-elle directement la graisse en énergie utile? La fait-elle passer, comme le déclare M. Chauveau, à l'état de « potentiel glycogène », le seul directement utilisable? — Il aurait fallu, avec une ration (4) isodyname aux autres, remplacer les 60 gr. de graisses par du sucre. C'était bien notre dessein si le temps ne nous avait fait défaut.

Une conclusion maintenant s'impose : La machine humaine, en travaillant, utilise des matériaux non azotés. *A priori* elle aurait plus vite fait de brûler des hydrates de carbone, qui libèrent énergie égale que les graisses en coûtant moins d'oxygène (voir page 37), en économisant l'effort des muscles respirateurs.

Il apparaît ainsi que les albuminoïdes, dans les rations suffisantes, celles d'entretien, répondent à la rénovation des tis-

sus musculaires. Ils n'assurent plus cette rénovation si l'intensité du travail les détruit sous forme de combustible; et le poids du corps humain fléchit dans les rations insuffisantes : c'est le cas de notre sujet.

Voilà pourquoi, l'équilibre azoté une fois réalisé, tout excès d'albumine se traduira par une hypertrophie du système musculaire (*hyp. fonctionnelle*). L'intérêt du bon entretien de la machine est de savoir que les ternaires forment le combustible préféré du *travail*, et que les quaternaires sont des aliments de *force*. L'économie du fonctionnement conseille de s'adresser aux premiers. C'est ainsi que, dans le tableau IV^{III}, la valeur du quotient respiratoire, en moyenne 0,88, trahit cette préférence de l'organisme. D'autre part, le tableau VII accuse une dépense de 4.000 calories environ pour le travail le plus intense de la journée ouvrière. En réalité, la majeure partie de nos travailleurs consomment par jour 3.500 calories et rarement davantage. Quoi qu'il en soit, dans les régions où la main-d'œuvre est nourrie par l'employeur, il est possible d'adopter un régime de nourriture conforme à nos conclusions, et de traduire en argent la dépense alimentaire. On saurait ainsi, exactement, le coût du travail; on comparerait, industriellement parlant, la machine humaine à une véritable machine usuelle, pour laquelle on établirait un barème spécial.

A notre connaissance, certains directeurs-colons, en Algérie, s'étaient déjà posé le problème, et dans la crainte de n'y pas réussir n'ont pas essayé de le résoudre. On voit l'inanité de telles appréhensions.

CONCLUSION

La machine humaine se présente donc avec un rendement moyen de 32,5 p. 100. Dans la pratique industrielle, où l'on tient compte de la consommation au repos, cette valeur est seulement de 4,5 p. 100. Mais tous frais d'exploitation compris, les moteurs thermiques rendent sensiblement moins. Et si l'on songe aux travaux où l'homme est nécessaire, où ses forces sont le plus utiles, on voit qu'elles ne sont pas excessivement onéreuses. Eu égard, surtout, au problème social que le travail de l'homme pose sous une forme aiguë, pareille conséquence mérite toute l'attention.— La nature des aliments qui conviennent à l'emploi du moteur humain, le prix relativement bas des substances grasses et sucrées, sont des questions que n'étudient pas assez ceux qui font travailler des milliers d'hommes dans leurs terres, les colons qui emploient la main-d'œuvre indigène, les officiers qui commandent « l'ordinaire » des troupes, tous ceux qui poursuivent la mise en valeur du travail humain. — Ils disposent d'une énergie dont ils ne régularisent méthodiquement ni l'entretien ni la dépense ; ils la supposent indéfectible.

Une fois choisie cette alimentation de travail, il faut y faire intervenir l'action si économique des boissons (café, thé, etc.), des condiments généralement préconisés par l'habitude, car ils constituent des aliments d'*épargne;* en restreignant la dépense énergétique, ils favorisent le rendement.

Reste le travail en soi. Il faut aussi en examiner les conditions mécaniques, en régler la vitesse, y faire déployer l'effort strictement suffisant, si possible, pour que sa valeur devienne, dans chaque circonstance, un maximum.

Les résultats consignés dans le précédent chapitre donnent une idée de ces variations, sur lesquelles évidemment se règle la grandeur du rendement. Les chiffres du tableau II ne concernent pas le travail journalier. On peut au moins les doubler sans dépasser ce que nos sujets auraient pu fournir. Ceux du tableau VII relatifs au transport des fardeaux sur une piste, ou sur une hauteur (tableau VI), ont un autre sens. L'ouvrier qui s'élève sur un échafaudage ou un escalier épuise son énergie utile en cinq ou six heures. A charge égale, il l'épuiserait plus lentement, en 7 ou 8 heures, s'il avait à marcher sur un terrain de niveau. Et même, pour les deux manières de travailler, il y a une limite que le fardeau, la vitesse du mouvement ne doivent pas dépasser. Il est précieux de la connaître dans chaque cas. Ainsi, le fantassin muni de son chargement complet ne pourrait faire plus de 25 km. par jour, à une vitesse de 4 km. à l'heure suivie de 5 minutes de repos. A la même allure et avec une charge de 65 ou 70 kg., il ferait à peine 12 km. ; l'augmentation de vitesse produit un effet analogue ; elle conduit, à un certain degré, l'organisme qui travaille à ne plus se ravitailler en énergie comme à mal se débarrasser de tous ses déchets.— L'importance des petites charges est très sensible si la route suivie offre une pente raide, car le travail d'ascension est plus onéreux que la marche.

C'est la méconnaissance de ces faits qui déprécie la valeur d'une troupe et en réduit l'utilité. Le maximum, dans la marche, correspond à un parcours de 30 km. environ, avec charge de 45 kg. et vitesse de 4 km. 800 à l'heure. Dans les travaux industriels, il s'agira donc de fractionner les masses

à transporter en accélérant la vitesse en proportion convenable.

A quelque point de vue que l'on se place, il n'est permis de parler de rendement de la machine humaine que dans le sens exclusif où il suppose la parfaite conservation des mécanismes, leur intégrité fonctionnelle. C'est le côté fondamental d'une étude sérieuse et des bonnes applications.

Au cours même de nos recherches, des personnes qui s'y intéressaient, médecins ou militaires, émettaient souvent l'avis que « l'homme travaille avec ses nerfs », que sa *volonté* influe sur le rendement. Une telle croyance est le fruit d'une confusion très répandue. Les excitations qui déclanchent un rouage ont évidemment leur rôle, mais elles ne réduisent pas la dépense, au contraire. Si, volontairement, un sujet non alimenté travaille sans relâche, si par « amour-propre » il effectue à jeun des marches de 25 ou 30 km.; cela ne veut pas dire qu'il n'ait rien consommé, ni que ses « nerfs » aient suffi à le nourrir. Il a fait appel, dans cette situation de misère courageusement, gaîment supportée, à ses réserves, à ses tissus; il s'*est consommé* ou, pour bien dire, consumé. Le rendement peut en souffrir, et, loin d'y gagner, baisser sensiblement.

Le grand problème de toute organisation où l'on destine le travail de l'homme à des buts utiles est d'éviter cette « misère physiologique », en fournissant au labeur la ration qui couvrira ses frais, aussi bien en qualité qu'en quantité. C'est alors qu'il sera possible de déterminer le rendement de la machine humaine.

Nous avons déjà dit, à propos de la nature du moteur musculaire, que le cycle de Carnot ne s'y applique pas. D'une part, en effet, le jeu du muscle, depuis l'ingestion des aliments et de l'oxygène jusqu'à leur terme définitif de transformation, ne réalise pas un cycle fermé; d'autre part, les

phénomènes qui s'y produisent ne sont point réversibles. Il était donc antiscientifique de parler de Principe de Carnot lors même que la machine humaine serait un moteur thermique, et elle ne l'est pas. Nos expériences conduisent d'ailleurs à un rendement bien supérieur à celui que l'usage de ce Principe eût assigné aux muscles ; il supposerait dans les tissus une source permanente ou instantanée de chaleur dont la température atteindrait *363°* environ !

A vrai dire, nous ignorons absolument l'essence du fonctionnement musculaire. Mais, pratiquement, on suppose que la machine humaine, en reprenant son poids initial, réalise un cycle fermé, et l'on compare son rendement à celui d'une machine usuelle. Le moteur thermique, où la vapeur actionne un piston, dépense dans les meilleures conditions 800 gr. de charbon par cheval-heure, soit un rendement pratique de : $\frac{270.000}{425}$: $\frac{8.080 \text{ c.} \times 800}{1000} = 9$ p. 100. C'est le rapport de la chaleur utile à la chaleur dépensée (1).

Or, le travail moyen de nos sujets, en monocycle, est de 66.661 kgm., qu'ils pouvaient aisément doubler dans leur journée. — En se déplaçant sur un escalier de 3 m. 78, le n° 15 fait 158 voyages, dont la valeur, pour les ascensions seulement, s'élève à 70.310 kgm. :

(67 kg. 750 + 45) 3,78 × 158 = 70.310 kgm. Ainsi, nous ne serions pas loin de la vérité en adoptant 150.000 kgm. pour le travai journalier. D'après le rendement de 32,5 0/0, la dépense serait :

$$\frac{150.000}{425 \times 0,325} = 1.090 \text{ calories.}$$

(1) Un cheval-vapeur vaut 270.000 kgm. ; la chaleur de combustion de 1 kg. de charbon est 8.080° en moyenne.

Notons que le n° 65 dépense seulement 893 cal., c'est-à-dire que le travail de descente est inférieur à celui de la montée; il coûte moins. La ration d'entretien au repos est de 2.527 cal.; d'où une dépense totale, pour le travail journalier, qui s'élèverait à 1.090 c. + 2.527 = 3.617 calories.

Pour le même travail, une bonne machine à vapeur dépense : $8.080 \frac{800}{1.000} \times \frac{150.000}{270.000} = 3.591$ calories.

Donc, même dans les idées de l'industriel, il y aurait égalité de rendement à faire travailler des hommes ou des machines. Sans doute, la rapidité, la quantité que l'on recherche dans l'ouvrage donnent une supériorité écrasante à celles ci ; leur combustible est aussi moins cher que les aliments dont l'homme fait usage.

Mais ce dernier, là où il faut graduer l'effort, où l'intelligence doit guider l'exécution, reprend tous ses avantages. Les puissantes machines électriques,qui sont d'un rendement de 80 à 90 p. 100, transforment l'énergie mécanique d'une machine à vapeur; c'est dire qu'elles en abaissent le rendement. Sous ce rapport, elles sont inférieures à la machine humaine.

Les magnéto, qui, elles, défient toute comparaison, utilisent une énergie chimique d'un prix élevé; elles ne sauraient se ranger dans la catégorie que nous examinons. En définitive, l'homme est supérieur par l'art de travailler et par le rendement de son travail. Il est le pire moteur pour la *puissance*. Il faudrait un nombre immense de machines humaines pour effectuer, *dans le même temps*, le travail d'une seule dynamo.

Aussi bien, tant que l'industrie ne considère pas la *durée* du travail, l'homme est-il pour elle un outil précieux, utilisable sur place, se procurant partout où il vit le combustible qui l'alimentera, au besoin forçant la terre à le lui donner :

nos moteurs thermiques n'ont pas toujours cette possibilité.

Nous ne savons pas, malgré la diversité des populations étudiées si, réellement, il se mêle à cette question du Rendement un *facteur ethnique*. Pourtant, les *nègres* (nos 34, 36, 37, 41), les *Marocains* (nos 28 à 32) nous ont semblé d'une endurance particulièrement grande, et leur rendement est, en effet, le plus élevé. Cette endurance se remarquait surtout dans la manière de reprendre le même travail, plusieurs jours de suite, sans paraître en souffrir. Nos colons de l'Oranais le savent bien ; toute ou presque toute la main d'œuvre qu'ils emploient se compose de Marocains, et nous n'avons pas été peu intéressé de ce que leur alimentation est, en majeure partie, composée d'huile d'olive et de pain.

Dans toutes ces considérations, il n'est, à la vérité, pas d'argument plus décisif en faveur de la machine humaine que l'argument social : l'homme doit trouver du travail parce qu'il faut qu'il vive.

TABLE DES MATIÈRES

—

Avant-propos 4

PREMIÈRE PARTIE

Chapitre Premier. — **Rendement des moteurs** 7
Chapitre II. — **Aperçu historique** 15
Chapitre III. — **Le travail et la dépense** 30

DEUXIÈME PARTIE

Chapitre Premier. — **Analyses et calcul de la dépense** 49
Chapitre II. — **Tableaux résumant les facteurs du rendement** 57
Conclusion 83

Poitiers. — Imp. Blais et Roy, 7, rue Victor-Hugo.

WELLCOME LIBRARY INSTITUTE